物理大辭典

十三畫～十四畫

人文出版社印行

中華民國七十四年五月再版

物理大辭典

主　　編：段木干
編　　輯：本社編委會
出版者：人文出版社有限公司
社　　址：台中市忠明路二十巷十一號
電　　話：二五一八八八八號
郵　　撥：○○二八○○○一七號
登記證字號：局版台業字一三三二號
發行人：段鏡
住　　址：台中市忠明路二十巷十一號
電　　話：二五一八八八八號
印刷廠：三興彩色印刷廠
地　　址：台中市健行路八五六號
電　　話：三一八五六二號

編　輯　大　意

一、二十世紀物理學的驚人發展，已改變了全體人類的生活。因此，我們博採舉凡有關物理的一切名詞、概念和現象，言簡意賅的加以說明，彙成本辭典，提供給學術界和社會人士，作爲參攷查閱之用。

二、全書共六千餘頁，約八百萬字，二十四開大本，精裝九册。內容豐富，編校審愼，是我國目前唯一一部取材最龐大、收錄最完全的物理大辭典。

三、本辭典係依每一名詞起首文字之中文筆畫多少，定爲先後順序，并採用科學方法編排，檢校查攷，極爲便利。書前列有物理學概論，簡介物理學的發展小史及其主要內容，期使讀者能獲得基本而有系統的物理常識。書後列有附錄多種，諸如實驗法則與實驗方法、物理標準和物理常數、力和運動、熱學、聲學、光學、電磁學以及高能物理、量子物理、太空科學等等，重要資料，應有盡有。

四、本書名詞，採用民國六十年國立編譯舘新編訂之物理學名詞爲主。書後編有英文索引一册，可以中英對照，互相查攷。

五、科學的專門名詞，日日見增，而一部精良的工具書，實可使學術研究工作，收到事半功倍之效。是以本辭典係應當前社會之需；惟因付梓匆促，誤漏在所難免，尙祈學者不吝教正。

編　者

六十三年春

物理大辭典

總目次

第六册目次

物理大辭典

十三畫

十　四　畫

十 三 畫

【傳眞】(Facsimile)

利用電線或通過無線電發送不動圖像(信件、圖畫、照片、報紙)。

傳眞的原理與電視相似，不過因爲不動圖像的發送可以延續足夠長的時間，所以圖像的分解速度及信號的發送速度都可能並不很大。這樣對於圖像的復合與分解，都可以採用機械裝置；對於發送，可以採用相當窄的頻帶，也就是可以利用普通的通信線路。

【傳眞發射機】(Teleautograph)

發方將原字跡由電脈衝輸送於收方的儀器。

【傳眞照相】(Facsimile photograph)

幾乎，凡是太空的自動照相，都是採用電視的傳眞照相，這些照片是利用電波傳送回來的"傳眞照片"，傳眞的照片是把傳送的照片改爲電訊信號播放，由受信的接收站收取這些"電訊信息"，再改成照片，目前臺灣有好幾家報社可以收取外國的傳眞廣播，遇到世界上有大的新聞時，可以收取照片，再行轉印成報紙的新聞照片分發，的確這種照片的價値及其功用是非常高的，它的傳送的方法如圖 13—1 所示，發放照片傳眞的地方，他們先把照片捲在一個圓型筒上，這個圓筒是有一定轉速的，在旋轉的畫面上，依著一個很細小的光點，從照片的開頭至最後，不停地照射，像電子槍一樣對著照片一點一點的射擊。照片的黑白是使用線條，即是不同的光線來

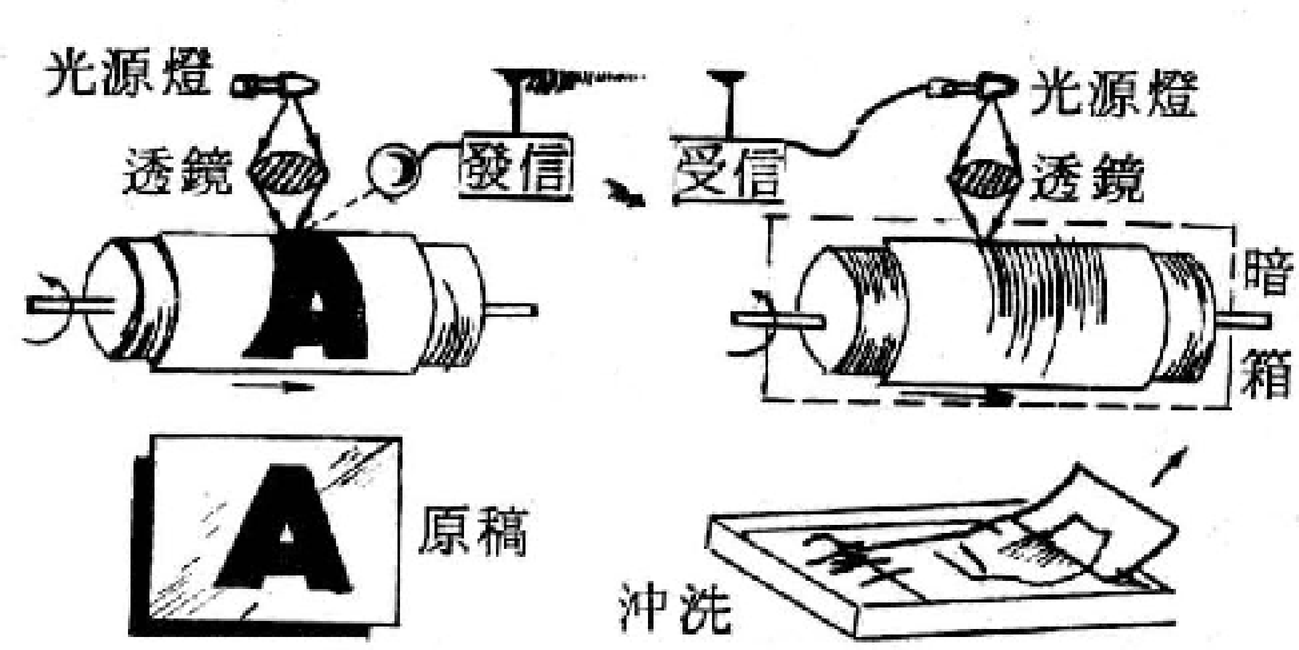


圖 13—1　傳眞照片的原理

形成的。所以，照射這個照片的小黑點，在白色的（即光度大的地方）反射強，而在黑的地方就反射軟弱了。其光線反射的差別不同，便由光電管（把光線變爲電氣的電子管）吸取後，而成爲電流。這樣，照片經過這種轉變，便不能成爲肉眼所能看得見的電訊信號了！這電訊信號再通過發信機，就可以將電波傳播到很遠的地方。

那麼受信的一方面之設備，恰好和發信地相反，把電流的變化改做強弱的光線，再用感光線或膠片照成畫片的底片，所以，受信的一方也要有如發信地方的那型圓筒，用同樣速度旋轉；在圓筒上套上感光線，以防止別的光線的混射，這圓型筒必須裝放在黑暗的暗房裏才適合。

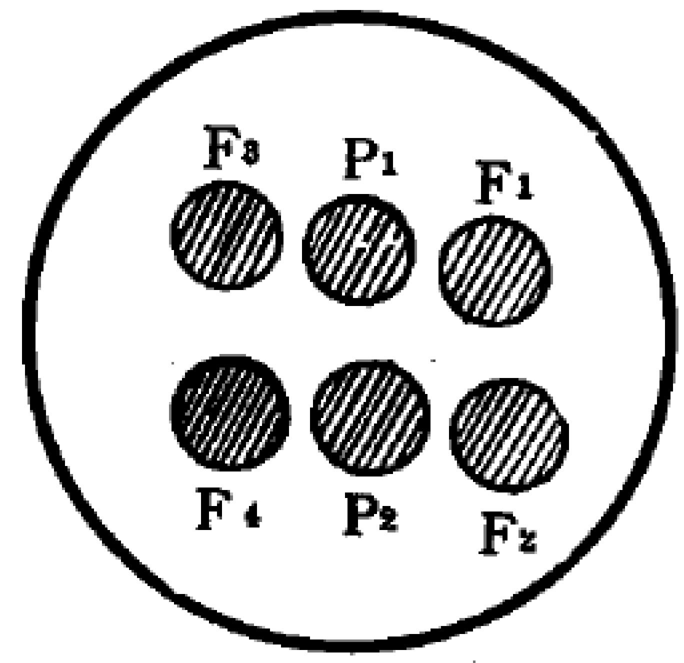
受信的接收機收到發來的電信時，把強弱不同的電信變爲強弱不同的光線，再將光源燈射入暗箱中的圓筒，製印照片出來。這種傳眞照片，因爲是由光點掠過的線條集成的，所以畫面有很多細線，如圖 13—2 即爲其例。



圖 13 — 2
月球線條式照相

從太空中傳回的照片，這在 1956 年之前，美國發射的一些小型偵察衞星，已經照相成功，不過那種還不是眞正代表像今日的太空照相，眞正的開始應該是蘇俄於 1959 年的十月，月伴三號（*Lunik* Ⅲ）到月球第一次照相的首次成功，它的傳送方法，可以說完全與電視的發出電信號是一樣的，他們採用普通的照相機拍照，經過電視裝置改爲電信號

，以電波送回地球，波線有1,000多條，普通家庭電視只有525條。到了1964 年游騎兵(*Ranger*) 第一次征服月球時使用了更優秀的傳眞機，拍回數以萬計之照片，這型每秒可傳回5張照片或2.5秒鐘傳回一張的電視照相機只有六具。



照相電視機裝置位置



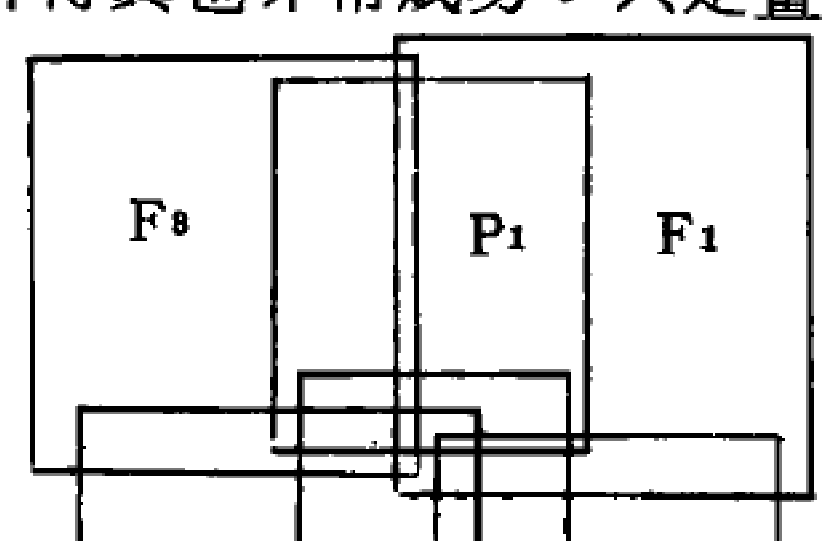
照相電視機形狀

圖 13 — 3

太空照相電視機

那時美國太空總署，設置接收臺收信時，把電信錄在磁氣帶上，然後再經過電視受相機變成一張張的畫像，再用照相機拍照，沖洗成爲普通的照片，每秒5張照片，有300條線。每2.5秒照一張的照片，有1,152 條線。所以畫面很淸晰。

美國太空總署射出的水手四號(*Mariver* Ⅳ)太空船，前往火星照相。火星距離地球有216,000,000 公里，比之月球遠上570倍遠，以秒速300,000 公里傳送電流，需要12分鐘才能由火星傳到地球，其照片傳眞也非常成功，只是畫面很粗。所以拍照一張畫像，要以200黑白點形成爲200條線，全部再分解爲40,000個黑白點，用明暗不同的符號向地球播放，一張照片傳送需8時35 分鐘，當地球受到後，再以電子計算機重新整理爲原來的光點而成爲畫像。



P_1 及P_2 爲大比例尺照相
F_1,F_2,F_3及F_4爲小比例尺照相

圖 13 — 4

太空照相電視傳眞照片情況

1964 年七月間美國第一次征服月球的游騎兵照相，是採用六具電視照相機同時拍照的。這六具照相機有兩種不同的焦點距離，卽是說它有大的及小的比例尺，照了的電視照片可以分成二種比例，供科

學家作參考之用（如圖 13—4）。

比較爲一般科學家們喜歡使用的，就是那些大比例尺的照片，因這些照片不但清楚，且其畫面清晰平滑，家庭的電視畫面也相同，如果畫面太粗了，對於觀看節目也很不理想，若設法改善爲多線條的，將使畫面更爲清晰平滑。

【傳眞電報】（Facsimile telegraphy）

在兩地間，利用光電效應的原理傳送照片、書信或圖表文件等眞跡的通訊方式，叫做傳眞電報。發送時，先將文件放在傳眞發送機上，依照一定次序將其分成許多小點；通過光電設備的作用，這些黑白深淺不同的小點，變爲強弱不同的電流，然後用導線或無線電傳送到對方。對方將收到的強弱不同的電流，還原爲依次排列的、黑白深淺不同的光點，照到傳眞接收機的底片上，即重現出原來的文件或圖片。

【傳動】（Transmission）

將兩個能在不同軸心上旋轉的定滑輪連接在一起，當使其中一個旋轉時必然引起另外一個跟著旋轉。爲求達到此一目的，須使兩個滑輪之周圍發生直接接觸（圖 13—5 (*a*)之摩擦輪）；或是須將兩個輪子周圍製成輪齒，使得此一輪之齒插入另一輪之齒間空隙或另一輪之齒插入此一輪之齒間空隙(圖 13—5(*b*)之齒輪），或是須以主動皮帶將兩個輪子連結在一起（圖 13—5(*c*) 與(*d*)之皮帶傳動和傳動輪）始克有濟。在最後兩種情況之下，主動皮帶所佔者乃是兩個輪子的外公切線或內公切線之位置，並且是利用輪子周

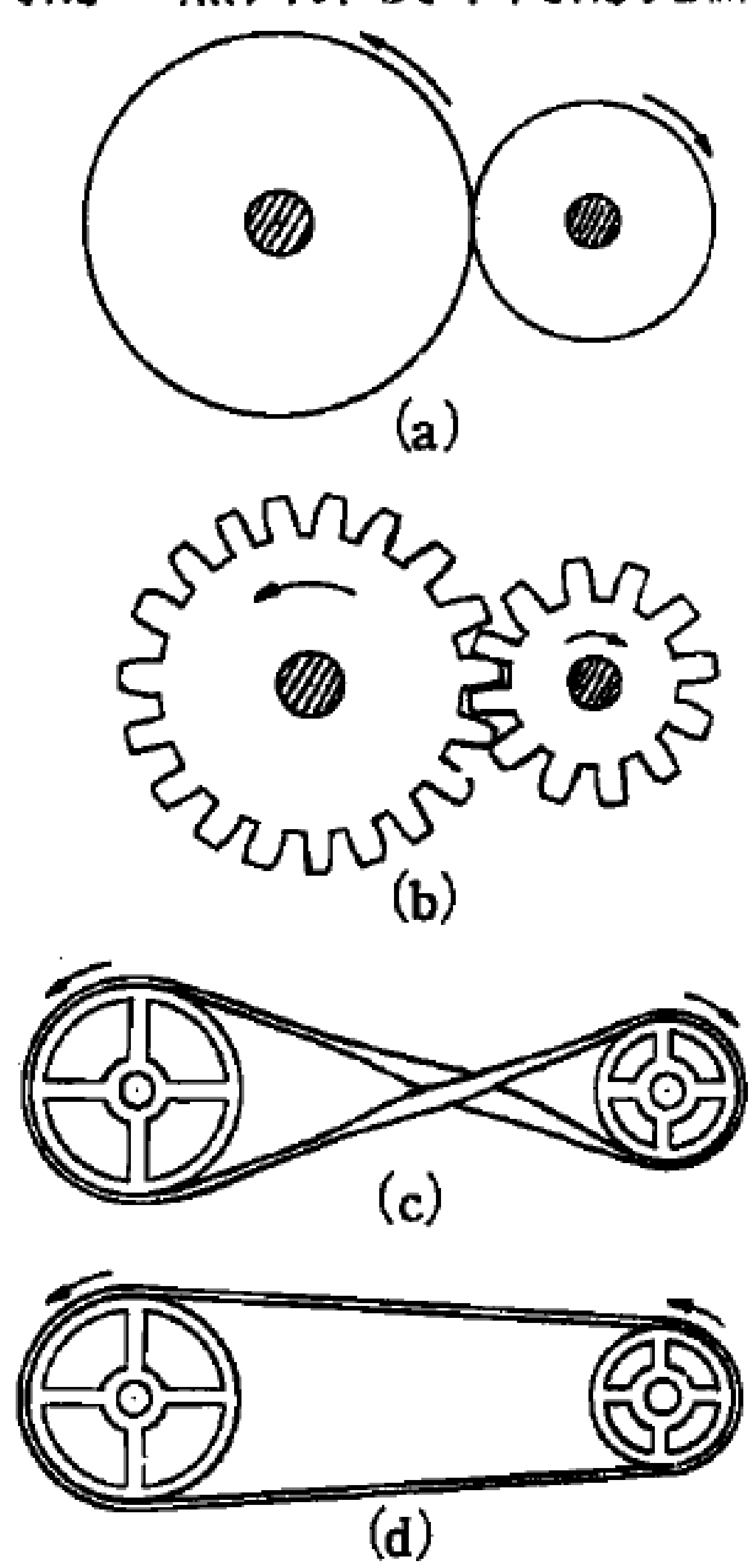


圖 13—5　傳動

圈和皮帶之間的摩擦來達成傳動的目的。

【傳動比】(Ratio of transmission)

當一作用力$\vec{P}$在一槓桿和一負荷或反抗力$\vec{Q}$取得平衡時，我們就可以在現象中將此項平衡當作是如此發生的：$\vec{P}$力經槓桿轉換(轉變)成$\vec{Q}'$力，而此一$\vec{Q}'$力乃與$\vec{Q}$力大小相等而方向相反，並與$\vec{Q}$力具有同一著力點(圖13－6)。這也就是說，槓桿將一個著力在它身上的$\vec{P}$力轉變成另一個力$\vec{Q}'=\vec{P}\frac{p}{q}$，而$\vec{Q}'$力大於$\vec{P}$力之倍數乃與槓桿臂$p$長於$q$之倍數相等。例如：$p$比$q$長5倍，則$\vec{Q}'$亦比$\vec{P}$大5倍。我們稱$p$：$q$之比為傳動比。此處之傳動比要比1大些，並且每當$q$愈小以及$p$愈大時，則該傳動比即愈大。因此，作用力臂$p$愈長而負荷臂$q$愈短時，我們就能夠以愈小的力達成平衡。

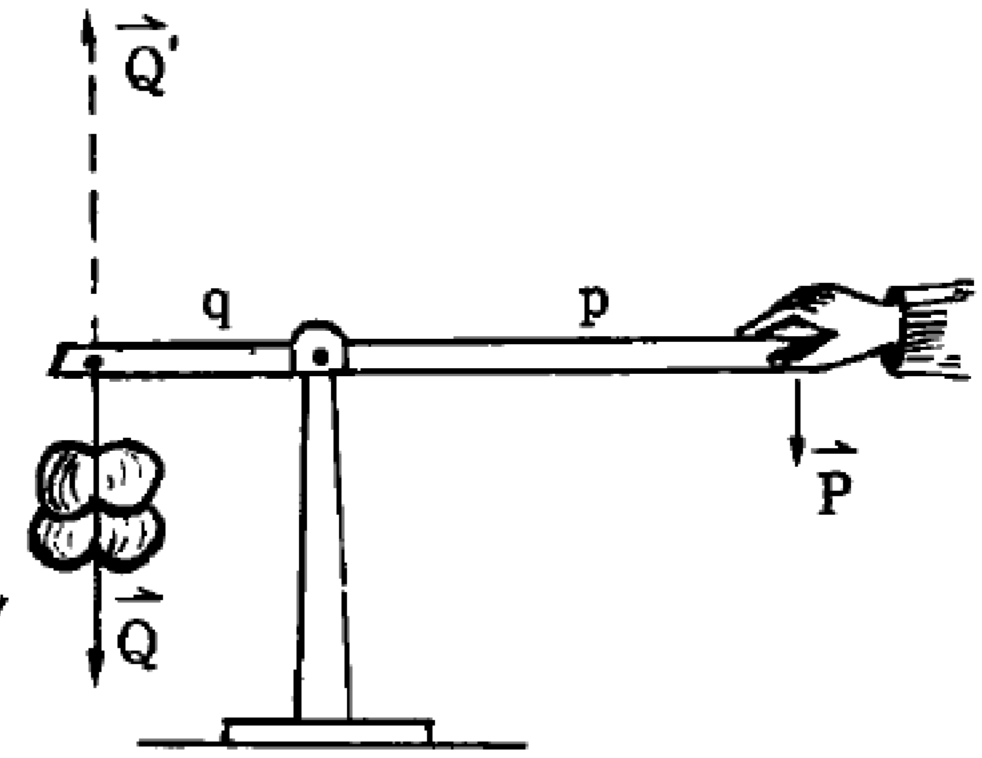


圖 13 — 6
槓桿充作變力器

【傳動裝置】(Transmission equipment)

多數機械具有把運動或力從某一部分傳達至另一部分的裝置。這些裝置和簡單機械一樣，只傳遞功而絕對不能產生功。

1.傳動帶(*belt*)、齒輪(*gear*)、傳動鏈條(*chain*)——傳動帶由皮革或布條等作成，繞裝在分開的大小兩輪上(圖13—7)。傳動帶因受輪緣摩擦力作用隨著輪的轉動而運動，並把一輪的轉動傳達至另一輪。這個裝置有兩種架裝方式，可以使兩輪作同方向或作不同方

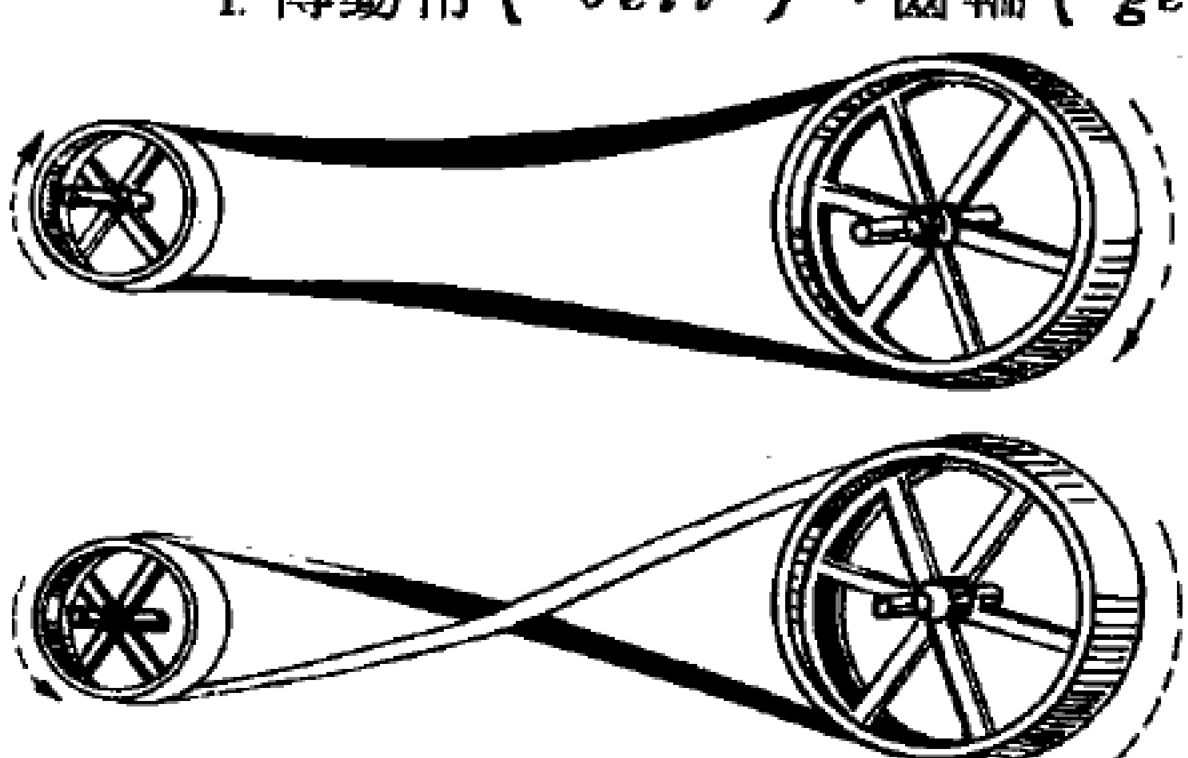


圖 13 —7

向轉動。假如兩輪的半徑分別爲R和r，轉動數分別爲N和n，那麼其間有

$$NR = nr$$

的關係成立；就是說轉動數和輪的半徑成反比。

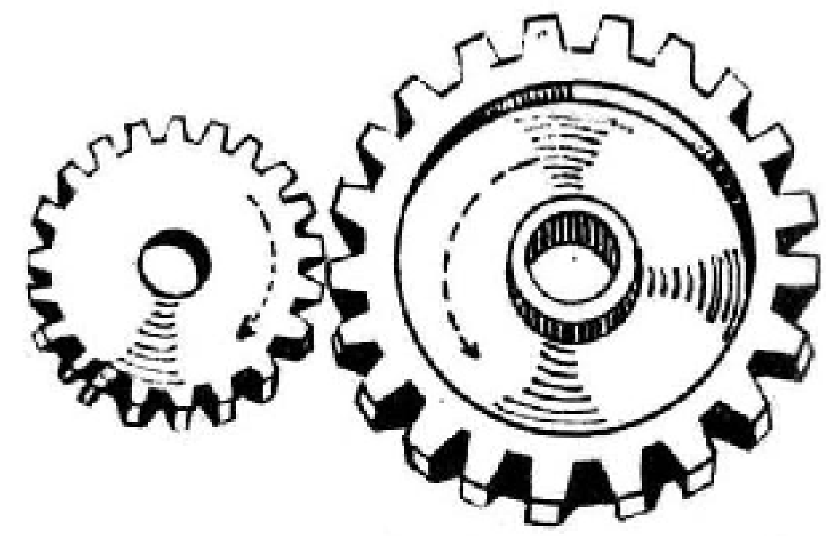


圖 13 — 8

齒輪（如圖 13 — 8），是利用大小兩輪邊緣上的輪齒嚙合來防止滑動，而用來傳達轉動的裝置。這裝置也是用來改變另一輪的轉動數和轉動方向。假設兩輪上的齒數分別爲T和t，轉動數分別爲N和n，那麼其間有

$$NT = nt$$

的關係成立，這關係表示；轉動數和輪的半徑成反比。

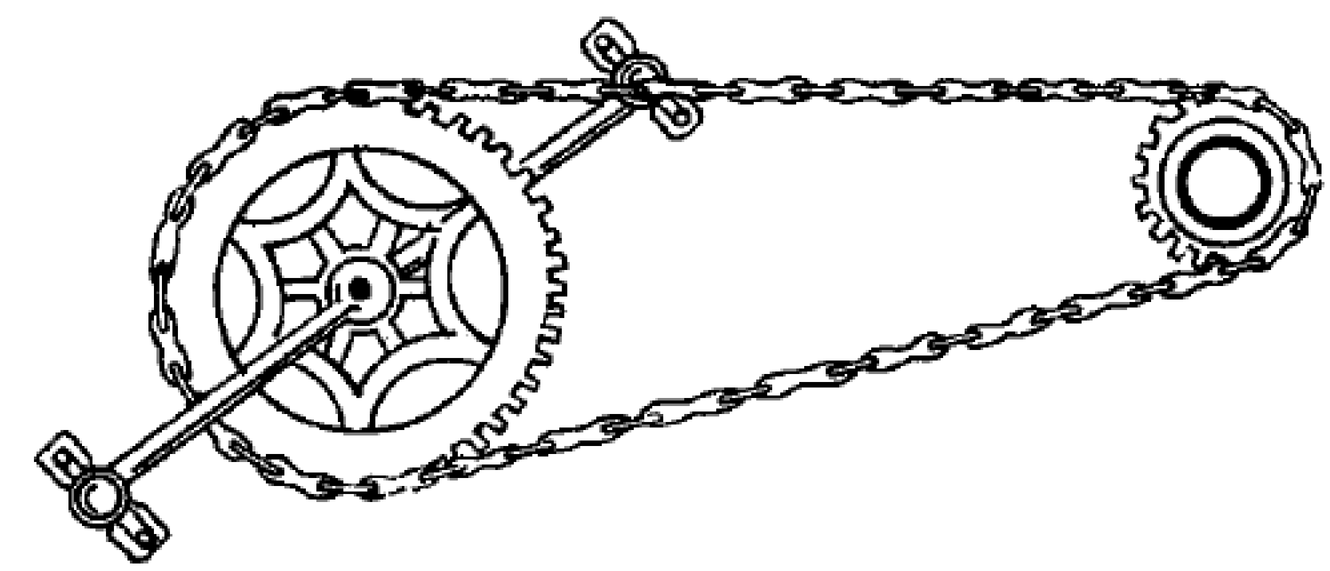


圖 13 — 9

鏈條（如圖 13 — 9），是架裝在分開的大小兩齒輪間，而作成和傳動帶相同作用的裝置。和傳動帶不同的是，因爲這裝置不產生滑動，所以可傳遞較大的力。

2. 曲柄（*crank*）——曲柄是可以把往復運動改爲轉動運動，或把轉動運動改爲往復運動的裝置，如圖13—10的火車利用曲柄，把蒸汽機活塞的往復運動改變爲車輪的轉動運動。及圖 13 — 11 的縫紉機利用曲柄，把踏板的往復運動改爲皮帶輪的轉動運動。

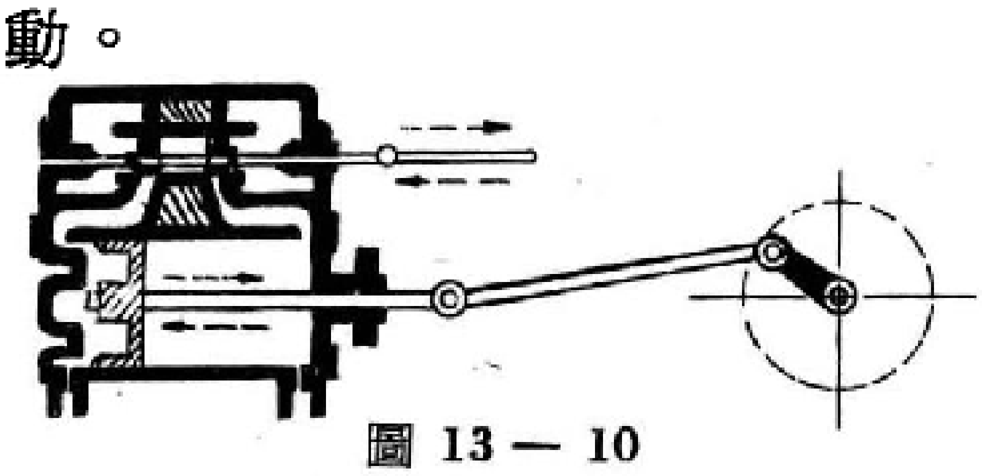


圖 13 — 10
活塞的運動和曲柄

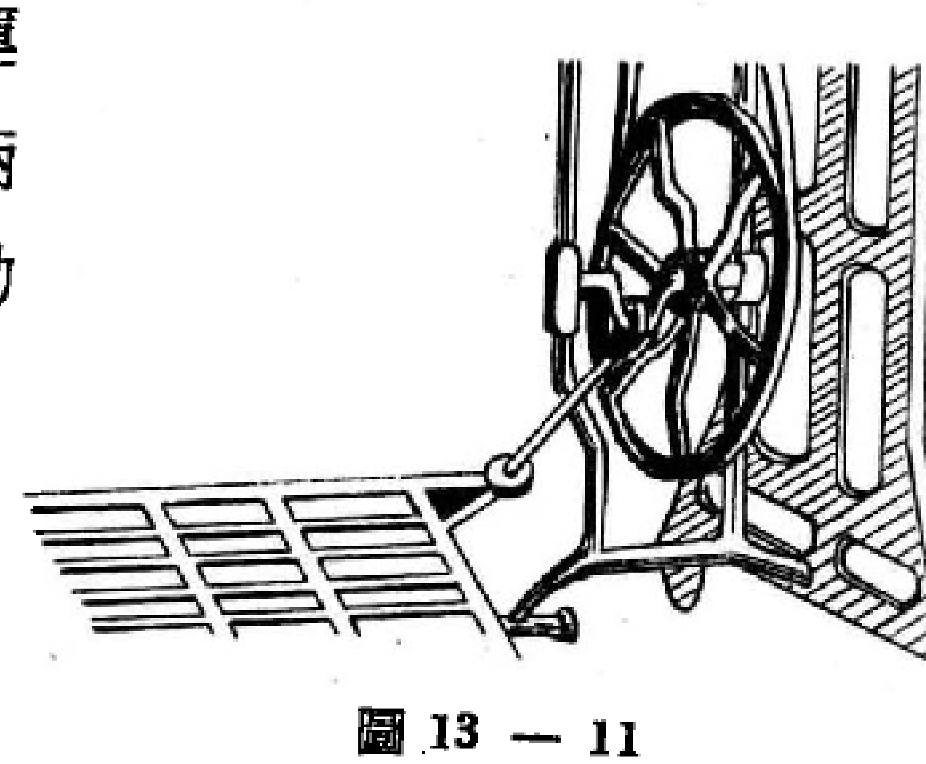


圖 13 — 11
縫紉機踏板和曲柄

3. 凸輪（ *cam* ）——凸輪可以把轉動改爲往復運動的裝置。凸輪的形狀不同，往復運動的方式就不相同。如圖13—12的汽車引擎凸輪之轉動變成活門的往復運動，及圖13—13的縫紉機圓柱形凸輪的轉動變成梭線裝置的上下運動。

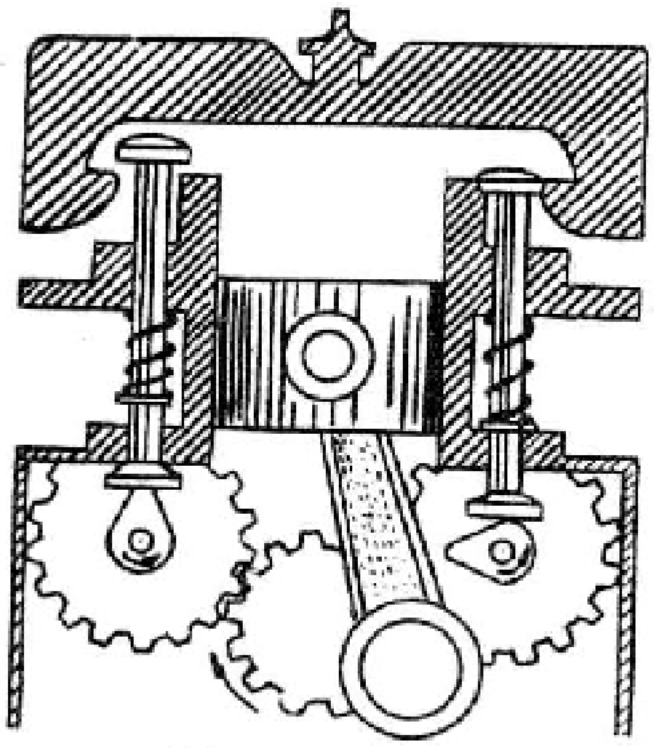


圖 13 — 12
汽車引擎中的凸輪

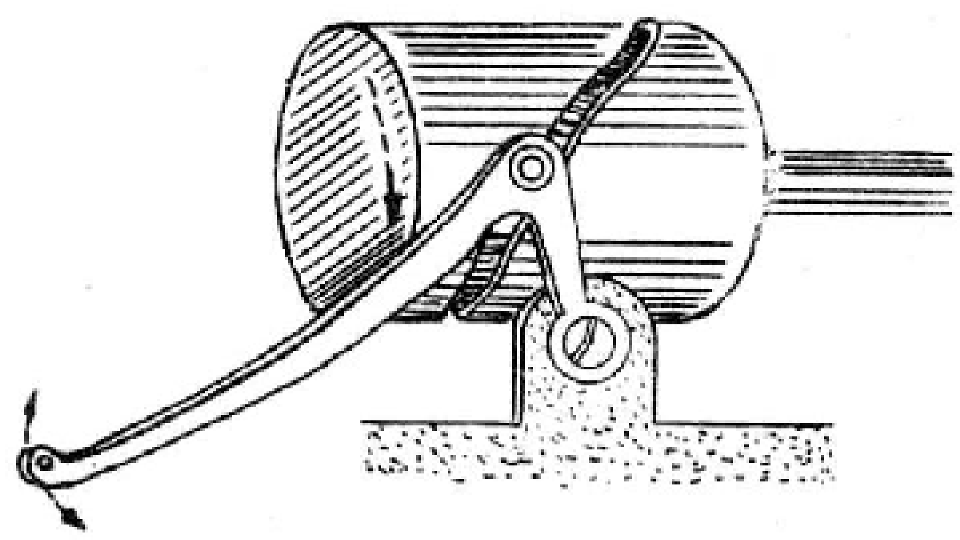


圖 13 — 13
縫紉機中的圓柱形凸輪

【傳影】（ Picture transmission ）

不論有線或無線發射，其電波包括畫像者。

【傳播】（ Propagation ）

磁電波或聲波藉介質傳播。

【傳播波】（ Propagating wave ）

或稱爲行進波（ *traveling wave* ），其波動的等相位面隨時間向前進行者。它與駐波（ *standing wave* ）不同者，乃駐波的等相位面固定於一點不變。

【傳播速度】（ Velocity of propagation ）

無線電波之傳播，波速爲每秒三萬萬米。聲波在普通氣溫下藉空氣傳播其速度爲每秒 1,129 呎。

【傳播常數】（ Propagation constant ）

發射天線傳遞常數與衰減常數及波長常數成正比。

【傳導】（ Conduction ）

傳導爲二個物體相接觸時熱由高溫物體傳到低溫物體的現象。傳導熱量的大小主要是依靠溫差及物體的傳熱係數（ *thermal conductivity* ）而定。通常物體的導熱係數以固體爲最高，其次是液體，最次是氣體

；而在固體中以金屬為最高。

【傳導係數】（Conductivity）

這是物質性質之一，用來描述物質導熱（熱導係數）或導電（電導係數）的能力。

若 q 為電量，V 為電位，A 為面積

則
$$\frac{dq}{dt} = -\sigma A \frac{dV}{dx}$$

σ 即為傳導係數。

【傳導帶】（Conduction band）

能量較高的空能帶稱作傳導帶，即傳導電子能量帶。因為凡電子進入這一能帶後，均具有導電的性質，故稱之。傳導帶中之電子可以自由導電，是由於它有許多可用能階以容納遷入的電子。例如在價能帶中的電子，由於晶體的溫度不為 0° K 而突然得到了較高的熱能，它就會跳越禁戒能隙而進入傳導帶中，於是原本飽含電子的價能帶就會出現少許空能階，此時若加上一個外電場，有些電子就可以進入這些空能階中而產生導電的作用。因為價能帶在這時仍然差不多全被電子佔滿，所以考慮它的傳導性時，我們考慮空能階的變動情形要比考慮全部電子的運動狀況容易得多。

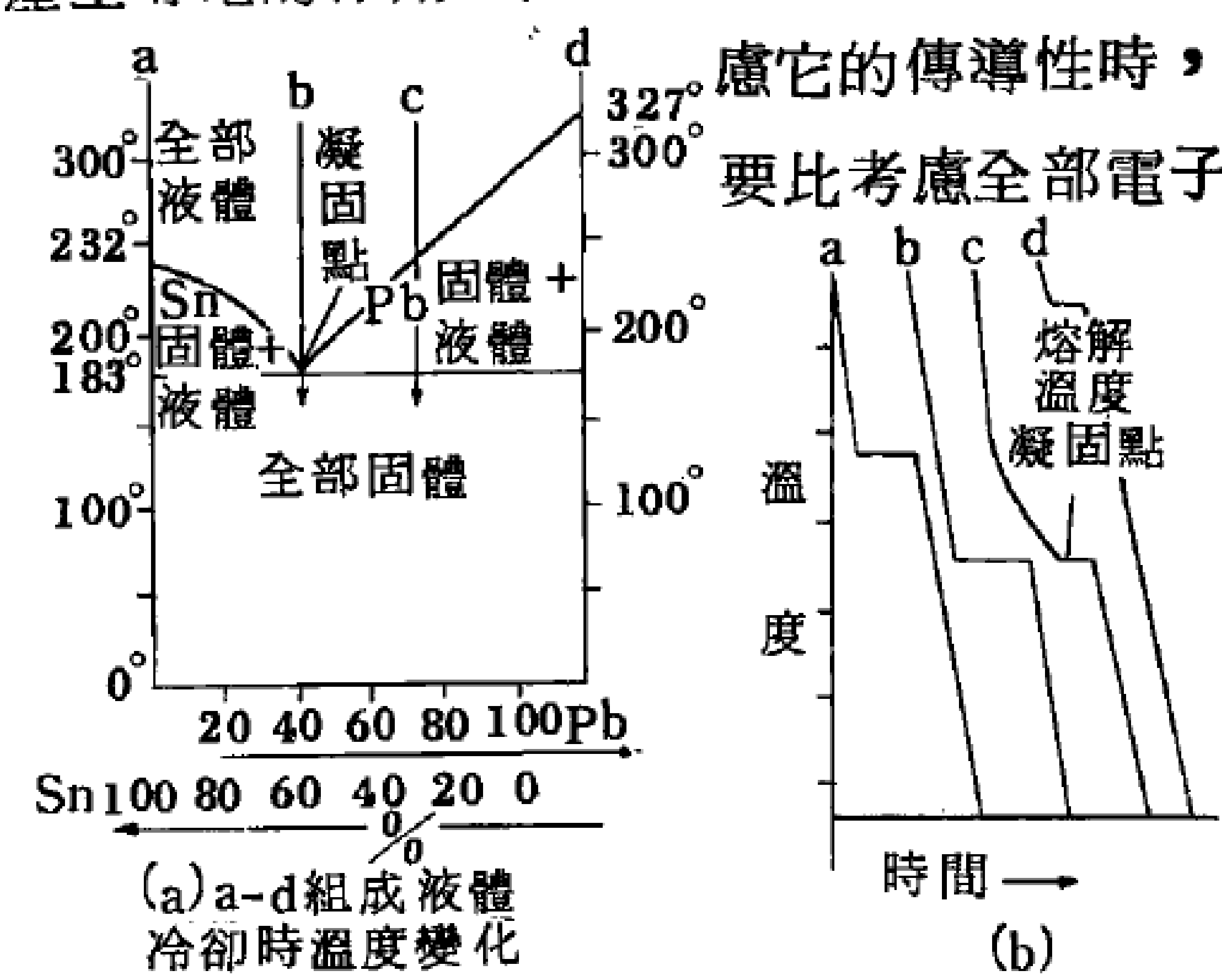


圖 13 — 14　熔解曲線

【傳導焊接】（Conduct welding）

利用比欲接金屬的熔解點低，並易於金屬熔著的材料接合的焊接方法。一般的合金，其全成分皆成為液態的最低溫度（熔融溫度）與全成分皆凝固

的溫度（凝固點）不相同（圖 13—14 ）。焊接時，將加熱到此熔融溫度，而在此溫度與凝固點中間的溫度範圍內進行成形或其他作業。因此由這些溫度值或兩溫度差寬的不同，其使用方法或適用範圍則有不同。由熔融溫度可把焊接分為軟焊接（ 200°C左右）與硬焊接（ 600°C以上）。

1.軟焊接

(1)材料——使用普通所謂的焊絲，鉛與錫的合金（參照下表）。電氣零件的接著，使用錫60％的焊絲，熔融溫度較低而方便，但價格略高。除了焊絲以外還需要接著部分表面的處理劑，以去掉接合面污髒（氧化皮膜、銹、油等），包覆表面防止氧化，並促進焊絲的融著。常用的為氯化鋅（ZnCl），將馬口鐵板或鋅粒浸在鹽酸內約一天製成，或亦把氯化鋅粉末用水溶化使用。也常用樹脂與獸脂的混合糊（俗稱為焊膏）。最近在線心處包焊膏的焊絲之產品很多。特別不易接著的金屬，則使用特殊溶劑。

焊　絲　種　類

錫	鉛	熔融溫度	凝固點
90％	10％	220°C	183°C
60	40	190	183
50	50	212	183
40	60	237	183
30	70	260	183

(2)實際的處理法——焊接工作主要要領有二，即接著面的充分清潔與加熱接著面到適當溫度。如在接著面有生銹等，則用銼刀或砂布磨掉它。如有厲害的油污，則用揮發油拭淨。清潔過的欲接面將盡量靠緊，在其周圍塗溶劑。因焊絲將熔解流動到所有塗有熔劑處，應注意不要塗過分的溶劑。另外，把預先加熱的焊烙鐵瞬間的浸在溶劑內後，觸焊絲。焊烙鐵溫度能使焊絲馬上熔解附著於烙鐵上程度為最適當，過高溫度也不合適用。烙鐵太污髒焊絲則不易附著於烙鐵上，利用銼刀磨清潔後使用它。將上面的焊烙鐵，壓在接合部不動，接合部的溫度則上升，超過

焊絲的熔融點後則流動分散並滲於塗有溶劑部分。焊接完了後，把多餘的溶劑（特別含有酸類時）或加熱時跳散的溶劑拭清。如不拭清，對於金屬面有不良影響。

2. 硬焊接

(1)材料——普通焊接的機械強度不夠時，或不耐溫度上升時，則實施硬焊接。硬焊劑以銅（*Cu*）、鋅（*Zn*）為主要成分並含有銀（*Ag*）、鎳（*Ni*）各種不同的種類，如右表所示。

硬焊接時，溶劑也是同樣重要。普通使用無水硼砂粉末或把它用水溶化使用。對於不銹鋼等不易接著的材料另有各種溶劑出售。

(2)實際的處理法——先由機械的方法，然後由溶劑清淨接著面。焊劑如為板形則切成小片適當的排在接合部上面，如為粉末則與溶劑攪拌弄成糊狀塗在接合部。硬焊接需做準備處理。如板金的接合，則利用鐵線等綁緊，或相疊等，先由機械的方法使板相接。如金屬線等，則以適當方法，把它固定於加熱臺上。將固定好的材料先加熱。為

硬焊劑的成分與熔融溫度

Ⅰ　黃銅焊劑

成分比%			熔融溫度
銅	鋅	銀	
50	46	4	740°C
50	43	8	670
43	48	9	720
40	35	25	620
35	52	12	690
30	25	45	600

用途：鋼、鐵或銅的接合。

Ⅱ　洋銀焊劑

成分比%			熔融溫度
銅	鋅	鎳	
45	35	20	1040°C
41	42.5	16.5	980
38	50	12	910
35	57	8	880

用途：鋼、洋銀、銅等的接合。

Ⅲ　銀焊劑

成分比%			熔融溫度
銅	鋅	銀	
26.5	5.5	68	748°C
25	11	64	713
22	22	56	678

用途：銀、銅、黃銅的接合。

了達到加熱目的，使用能充分供應空氣或氧氣的煤氣燈，燃料則利用煤氣、丙烷氣或乙炔等（圖13—15）使用中程度大的空氣，先把全體以大火餤加熱到薄紅色，此時注意將火餤移動著均一的把全體加熱，以免產生形狀特別爲接合部的彎曲而引起接合失敗。然後增加空氣與氧氣等的供

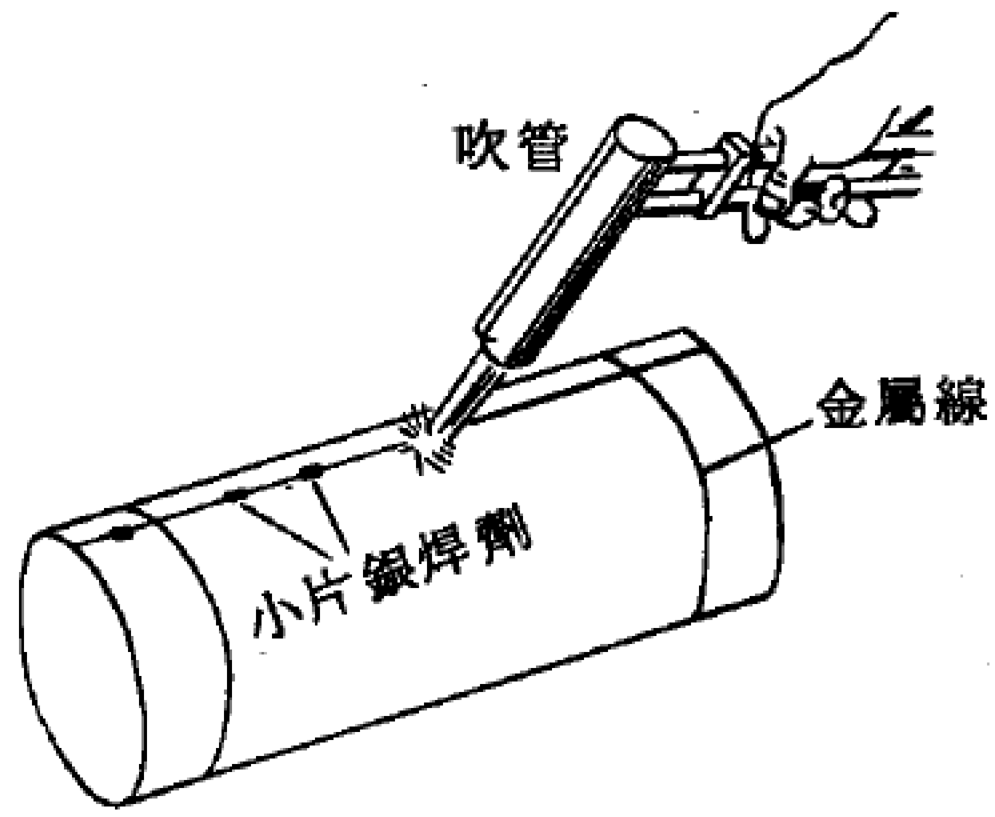


圖 13 — 15

應強熱接著部分，此時也需不斷的移動著火餤。溶劑將被熔化流動。隨著焊劑也沿著溶劑流動。如果焊劑留在某一處，則利用細棒等把焊劑趕到需要處。焊接完成後，將用水或稀薄的硫酸把溶劑拭清。如經酸處理，則需再用水拭清。如果需要常常作焊接工作，則自做焊接用作業臺利用較爲方便。

3.特種焊絲——軟焊接，在如接薄箔，溫度不能太高時，需使用低熔點焊絲合金，下表卽爲其例。

低　溫　焊　絲　合　金

名　稱	成　分　(%)	熔融溫度	備　考
伍　德　齊	鉍(*Bi*)48,鉛(*Pb*)26,錫(*Sn*)13,鎘(*Cd*)13	70°*C*	有不同混合比物熔點65～75.5°*C* 有同一名稱但成分熔點等不同的。
里巴比茲齊	鉍(*Bi*)50,鉛(*Pb*)27,錫(*Sn*)13,鎘(*Cd*)10	80～85	
羅　斯　齊	鉍(*Bi*)50,鉛(*Pb*)28,錫(*Sn*)22	100	

不容易焊接的鋁，則使用〔錫(*Sn*)70，鋅(*Zn*)25，鋁(*Al*)5〕的特種焊絲，並使用硬脂酸爲溶劑。有很多種類似系統的焊絲與溶劑產品在市面上出售。鉛也不容易用普通焊絲相接，使用〔錫(*Sn*)33，鉛(

Pb）67〕的焊絲與樹脂系溶劑就可以。不銹鋼的焊接，有〔錫（*Sn*）55，鉛（*Pb*）45〕焊絲可以使用，但如利用市面上的特種溶劑，則使用普通焊絲也可以接好。

4.焊劑焊接以外的傳導接著——細線與細線或薄板的接合，可使用電點焊接（*spot welding*）。小型的則利用10伏特左右的變壓器二次線圈內流通若干安培的電流，使線的末端能經銅棒做短路，在銅棒間夾著欲接金屬，利用焦耳熱熔解金屬做接著。把電極壓在材料的壓力大小或時間等有秘訣，需經多次練習，才能學會。原則上說，熔融點或熱傳導程度略相同的金屬間焊接較爲容易。例如鎳與鐵最容易焊接，鎳與鎢、鐵與銅或康銅也可焊接，但鎳與銅或鋁、鐵與鎢等則不易焊接，鋁與鋁或銅線與銅線間，因可能馬上產生傳導質不良的皮膜，而焊接困難。

【傳導電子之順磁性】（Paramagnetism of conduction electron）

當一電荷繞一軸旋轉時即生磁偶極矩（*magnetic dipole moment*），該電荷就如同一磁偶極子。此指一具有角動量之電荷必伴以磁偶矩。於是一電子因其自轉須具偶極矩，其磁偶極矩在外電場方向之成分爲 $+\frac{e\hbar}{2mc}$ 或爲 $-\frac{e\hbar}{2mc}$。此二成分一對應與外磁場成平行者，另一對應與外磁場成反平行者，此二成分之大小，常以 μ_B 表之，即

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2mc} = 0.927 \times 10^{-20}\ 爾格/厄司特$$

此處之 μ_B 通稱爲波爾磁元（*Bohr magneton*）。因磁偶極矩爲 μ 之磁偶極子，在外磁場中之位能爲 $-\vec{v}\cdot\vec{H}$，故

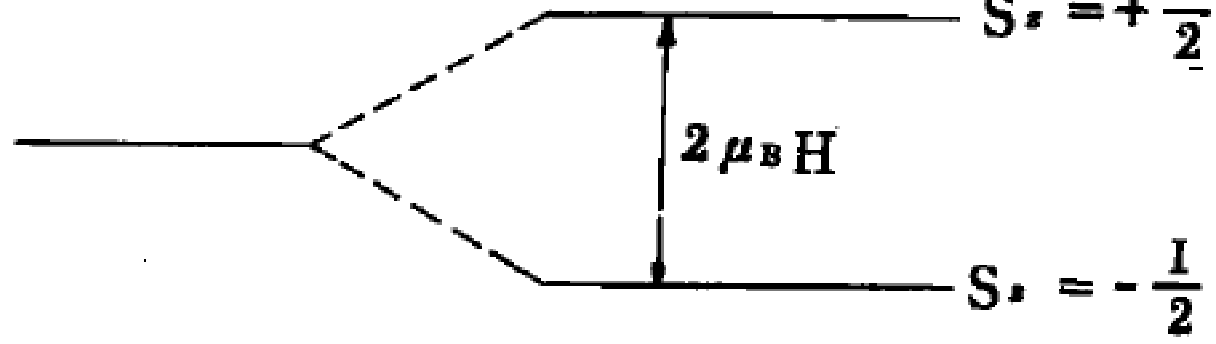


圖 13 — 16

其磁矩與外磁場平行的傳導電子，因外磁場之作用即得 $-\mu_B H$ 之能量

；其磁矩與外磁場成反平行的傳導電子，因外磁場則得$+\mu_B H$之能量。於是一自轉為平行之傳導電子之能階，與自轉為反平行之傳導電子之能階，因外磁場之作用，即行分離，如圖13—16所示。該圖係示自轉為$\frac{1}{2}$及軌道角動量為零之傳導電子之能階，在外磁場下之分裂情形，其間隔ΔW則為

$$\Delta W = 2\,|\,\mu_z\,|\,H = g\frac{e\hbar}{2mc}H = g\,\mu_B H$$

此處之g與吾人在討論異常則曼效應(*anomalous Zeeman effect*)時所引用之g相同，通稱它為蘭德因數(*Lande factor*)，亦稱它為譜分裂因數(*spectroscopic splitting factor*)。一般寫作

$$g = 1 + \frac{J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J(J+1)}$$

但$J=L+S$，J, S及L分別為總角動量、總自轉及總軌道角動量之量子數。就傳導電子言，因$L=0$，故其$g=2.00$。設金屬中單位體積之傳導電子數為N，外磁場存在時，屬於下方能階之傳導電子數為N_1，屬於上方能階者為N_2，在熱平衡之情形，根據波茲曼統計法(*Boltzmann statistics*)，N_1與$e^{\mu_B H/kT}$成正比，N_2與$e^{-\mu_B H/kT}$成正比，N_1+N_2與$(e^{\mu_B H/kT}+e^{-\mu_B H/kT})$成正比，故

$$\frac{N_1}{N} = \frac{e^{\mu_B H/kT}}{e^{\mu_B H/kT}+e^{-\mu_B H/kT}} \qquad (1)$$

$$\frac{N_2}{N} = \frac{e^{-\mu_B H/kT}}{e^{\mu_B H/kT}+e^{-\mu_B H/kT}} \qquad (2)$$

單位體積之磁矩M為

$$M = (N_1 - N_2)\,\mu_B \qquad (3)$$

從(1)及(2)二式，計算N_1及N_2，而後將它們代入(3)式即得

$$M=\frac{Ng\mu_B}{2}\cdot\frac{e^x-e^{-x}}{e^x+e^{-x}}=\frac{Ng\mu_B}{2}\tanh x$$

但 $x=g\mu_B H/2kT$，在通常之情形，因 $x\ll 1$，$\tanh x=x$ 於是M近似為

$$M=\frac{Ng\mu_B}{2}\cdot\frac{g\mu_B H}{2kT}$$

因傳導電子之 g 為 2，故得

$$M=\frac{N\mu_B^2 H}{kT}$$

從此可得傳導電子之順磁係數（*paramagnetic susceptibility*）x_p

$$x_p=\frac{M}{H}=\frac{N\mu_B^2}{kT} \qquad (4)$$

此處之N約為 10^{22} 厘米$^{-3}$，μ_B 及波茲曼常數 k 均為已知量，T 為絕對溫度。根據（4）式計算出來的金屬之順磁係數 x_p， 在通常溫度約為 10^{-4} 厘米$^{-3}$， 該式又示此 x 與溫度有關。事實上，x_p 之實測值 約為 10^{-6} 厘米$^{-3}$， 並且與溫度無關。此不一致之點，若取費米、狄悅克統計法（*Fermi-Dirac statistics*），以代波茲曼統計法，即可將之消除。

【傳導電子之反磁磁化率】（Diamagnetic susceptibilitv of conduction electron）

$$X_d=\frac{N\mu_B^2}{2kT_F}$$

其中 μ_B 是波爾磁元，T_F是費米溫度，N是單位體積的電子數目，k是波茲曼常數。

【傳導電子平均自由路程】（Mean free path of conduction electron）

為金屬中的傳導電子每次被散射前所行經的平均路程稱為傳導電子的平均自由路程，其長度大約與電阻係數成反比。

【傳輸線】(Transmission line)

傳輸線是一種傳輸電能的設備，可將一處的電能傳遞至他處。傳輸線一般常見的用途爲將 60 週的電源，從發電機傳遞至各用戶。

在發射機中，傳輸線的用途完全相似，即將某處的射頻功率傳遞至另一處。例如天線離發射機較遠時，常用傳輸線將發射機的射頻功率輸出傳遞至天線。

【傳聲筒】(Microphone)

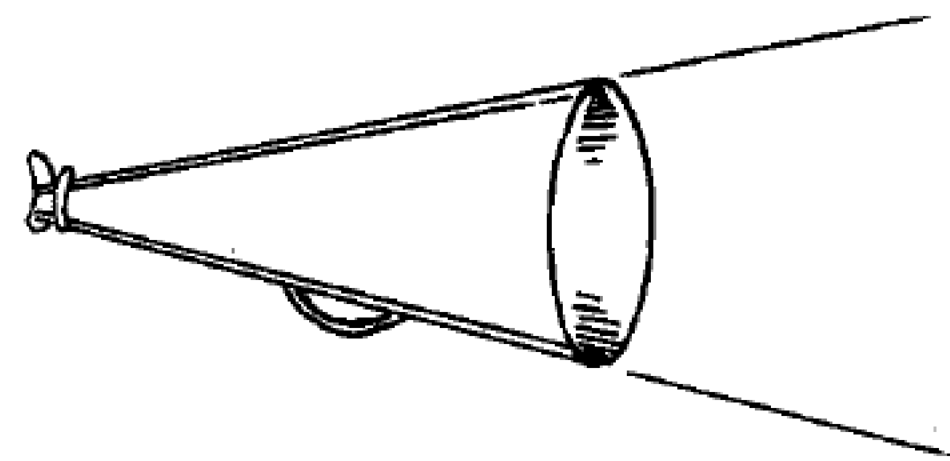


圖 13—17 傳聲筒

即微音器，或稱傳聲器。聲音從發音體向外傳播時，通常形成球面，振幅逐漸減小，所以離發音體越遠的地方，響度越小。若使音波沿著細筒進行，則可保持聲音的響度不減。運動場上用的傳聲筒(圖13—17)、醫生用的聽診器，都應用這個原理。

詳閱“微音器(*Microphone*)”條。

【圓孔繞射】(Diffraction from a circular aperture)

通常對透鏡的處理是根據幾何光學，特別假設不生繞射。因爲幾何光學雖爲甚佳之近似，但總歸是近似，故嚴密的分析應從波動光學著手。而由波動光學分析，自然顯出繞射現象。

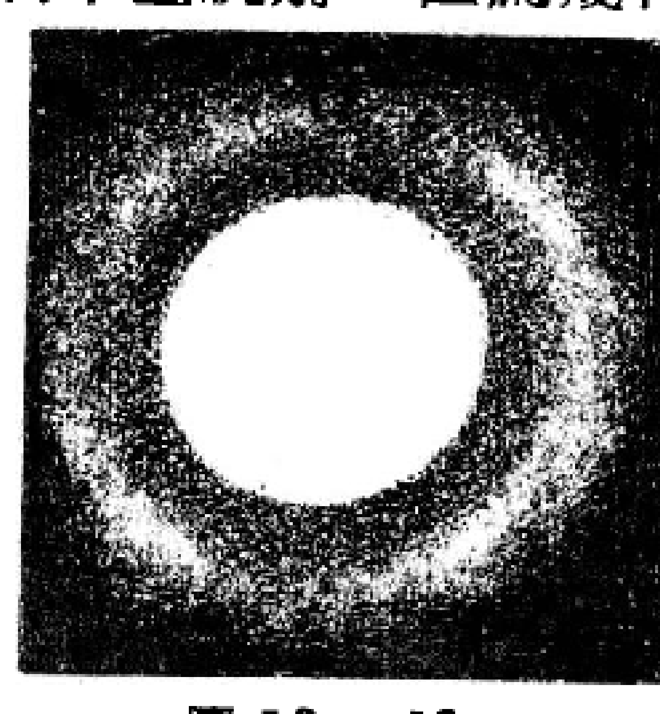


圖 13—18
由會聚透鏡所生一星的像爲繞射圖案

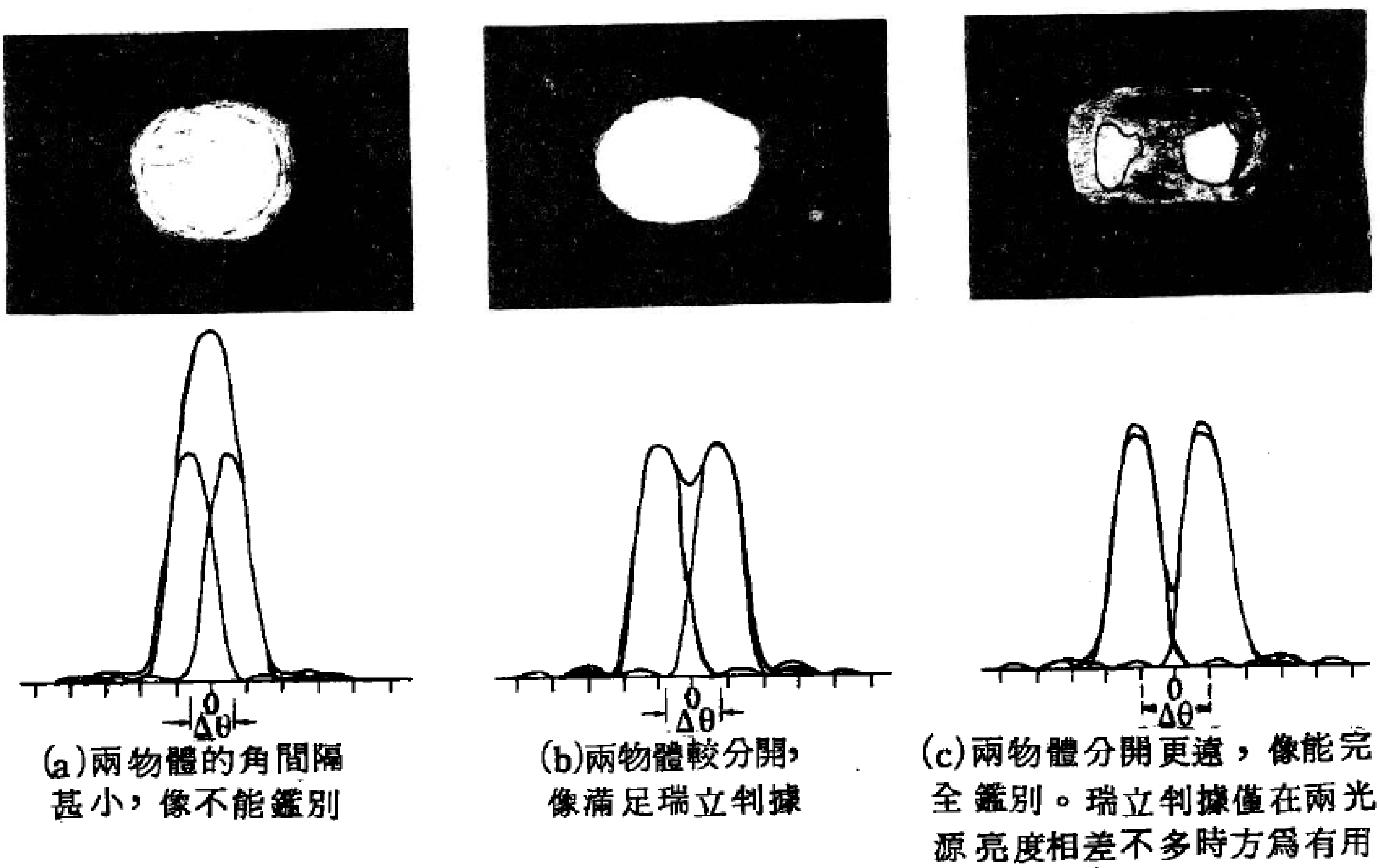
圖 13—18所示遠處點光源(例如一顆星)，在置於會聚透鏡焦平面的照相底片上所成之像。該像並不如(近似的)幾何光學所述爲一點，而是一圓盤，盤外環繞數圈逐漸暗弱的次級環。比值 d/λ 決定繞射圖案的尺度，d 爲透鏡的直徑(或者置於透鏡前之圓形孔徑的直徑)，正似比值 a/λ 決定狹縫的繞射圖案。

設為夫牢因和斐的情況時，分析結果證明直徑為 d 之圓孔的繞射圖案其第一極小為

$$\sin\theta = 1.22\frac{\lambda}{d} \qquad (1)$$

這與 $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$ 差不多，乃定寬度為 a 長窄狹縫之第一極小的位置。當將圓孔分成基本輻射體再對其積分時，自數學的解析而得因數 1.22 。

當欲分辨遠處的兩個物體而其角間隔甚小時，透鏡成像的繞射圖案實為重要之事。圖 13—19所示遠處之二點物體的可見形像及其對應的強度圖案，這兩物體的角間隔甚小。在圖(*a*)未能鑑別兩物體；即與一單獨體物體不能分別，在圖(*b*)則恰能鑑別，在圖(*c*)則能完全鑑別。



(a)兩物體的角間隔甚小，像不能鑑別

(b)兩物體較分開，像滿足瑞立判據

(c)兩物體分開更遠，像能完全鑑別。瑞立判據僅在兩光源亮度相差不多時方為有用

圖 13— 19

由會聚透鏡生成之遠處二點物體的像，透鏡半徑（= 10 厘米）為有效波長（= 5,000Å）的 200,000 倍。各圖表示在透鏡焦平面上所現的像，其對應的強度則繪於圖上。

在圖 13— 19(*b*)中，兩點源的角間隔為使其一點源之繞射圖案的極

大落於另一點源之繞射圖案的第一極小上，這稱爲瑞立判據（ *Rayleigh's criterion* ）。此判據雖有用卻是任意訂定的；有時也用其他準則來決定兩物體可否鑑別。由（ 1 ）式，二物體恰能鑑別時按瑞立判據角間隔 θ_R 應爲

$$\theta_R = sin^{-1} \frac{1.22\lambda}{d}$$

由於所涉及之角甚小， $sin\theta_R$ 可以 θ_R 代之，卽

$$\theta_R = 1.22\frac{\lambda}{d} \qquad (2)$$

若物體間之角間隔 θ 比 θ_R 大，則可鑑別兩物體；若比 θ_R 小，則否。但兩物體須有相同的亮度。

當然，一般來說透鏡的孔徑 d ，常比光波長 λ 大很多，繞射圖樣多局限在一很小的範圍內。不過，（ 2 ）式還是供給我們決定一望遠鏡與顯微鏡之鑑別率的根據。問題是：在透鏡前相當距離外，有兩個等強度的單波長獨立點光源，一在軸上，另一與軸有很小的距離，兩點光源各自形成一繞射圖樣。從這可能相疊在一起的繞射圖樣上，要能看出是兩點光源形成的，則此兩點至少應相距多遠以上？依瑞立判據，這正是當一光源繞射圖樣明亮圓面的中心，剛好落在另一光源繞射圖樣第一個暗環上的狀況（見圖 13—20 ）。又這時候，兩繞射圖樣的角分離，也正

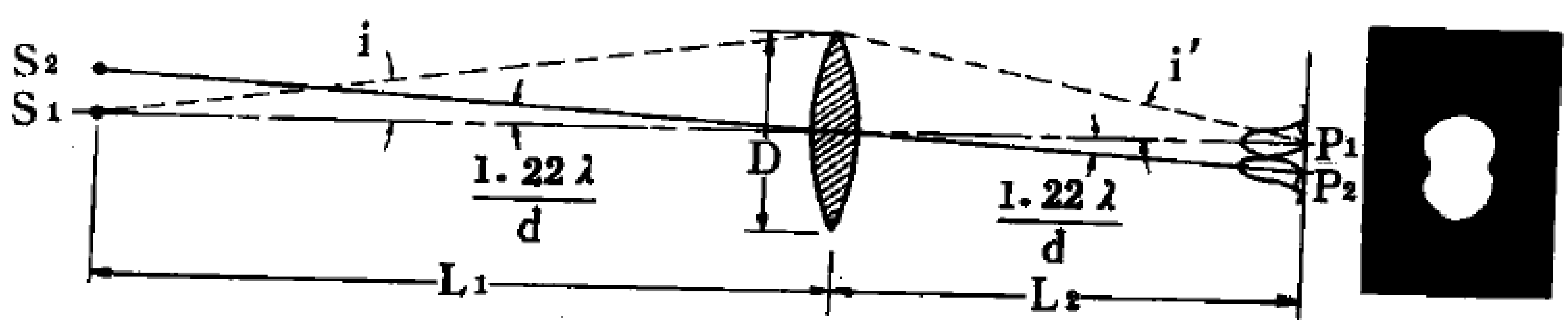


圖 13 — 20

透鏡的鑑別率，右邊的圖片是兩點光源之繞射圖樣剛能分開的情形。

是兩點光源對透鏡中心所張的角（見圖13—20）。故依（ 2 ）式，兩

點光源剛能被分開的張角是

$$極小鑑別角\ \theta_1 = 1.22\frac{\lambda}{d}$$

對一望遠鏡而言，光源與透鏡的距離 L_1， 總是非常大的。因此，常以角分離來量度兩光源的距離。故上式即一望遠鏡之鑑別率的量度。對一顯微鏡而言，L_1 只略大於透鏡的焦距， 並且我們常以線距離來量度物體。故顯微鏡的鑑別率常以下式表示

$$極小鑑別距離\ l_1 = 1.22\frac{\lambda}{d}L_1$$

若欲利用透鏡以鑑別間隔甚小之物體，即需使繞射圖案的中央盤儘量小，增加透鏡直徑或用較短波長的光可做到〔見（2）式〕。建造大型望遠鏡的理由之一是產生較分明的影像，以便能使星體研究更為細緻。影像也較明亮，不僅因能量集中於較小的繞射盤上，且因較大透鏡收集更多的光。

在顯微鏡中欲減少繞射效應，常用紫外光線，由於其波長較短，可比以可見光用於同一顯微鏡時觀察得更細緻。在電子顯微鏡中，電子射束的有效波長為 0.04 Å，比可見光（$\lambda \cong 5{,}000$ Å）小 10^5 之數級，故可用以仔細觀察如濾過性病毒的微生物體。若以光學顯微鏡研究濾過性病毒，其構造將因繞射效應而完全隱蓋。

【圓形波】（Circular wave）

在木棒插上一端裝有小塑膠球的圓形波產生器，調整高度使只有塑膠球能碰到水面。當此造波球擾動水面時，被壓處受壓下降，相鄰各點便受壓而上升，繼續向各方向擴展前進，因其外表是一圓形，故叫做圓形波，

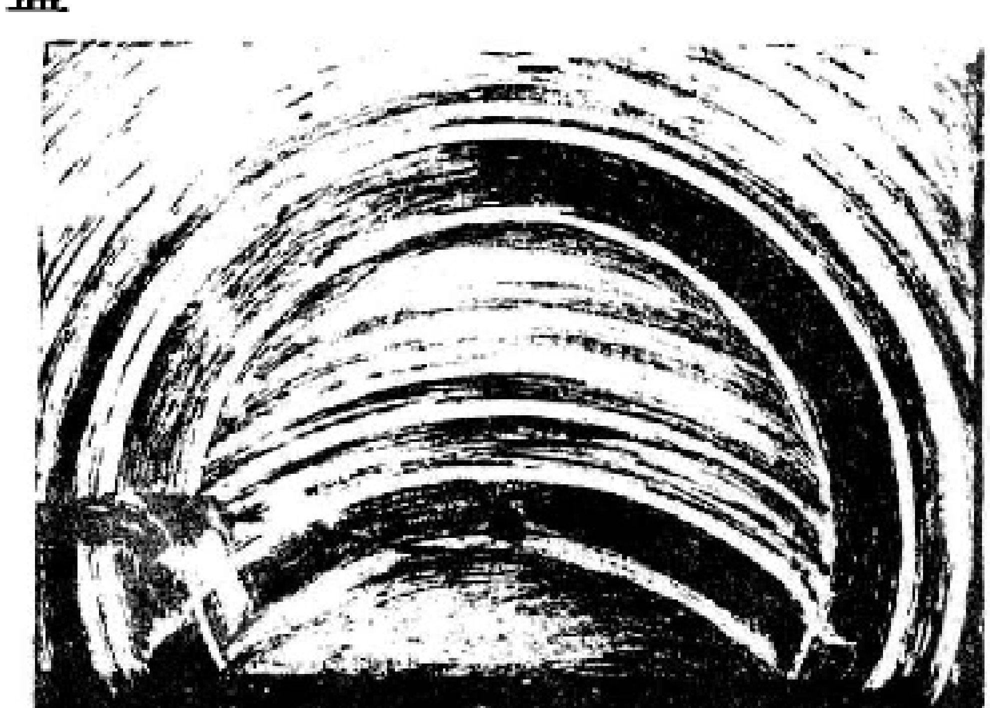


圖 13 — 21

例如水波。

行進中的圓形波遇到平的阻礙面，就產生另一圓形波，向相反方向，離開阻礙面而返回（如圖 13—21）。反射波的情形就好像在反射面的裏側有一反射波的中心，發出一個新的圓形波似的。入射波的中心和假想的反射波中心皆與反射面等距離。

【圓形電流的磁場】（Magnetic field of circular current）

一圓形電流（*circular current*）的磁場如圖 13—22 所示，與電流相連的磁力線對稱於穿過電流中心的軸線，並與電流的平面垂直，力線的方向，如圖 13—22中所示，可由右手定則決定。

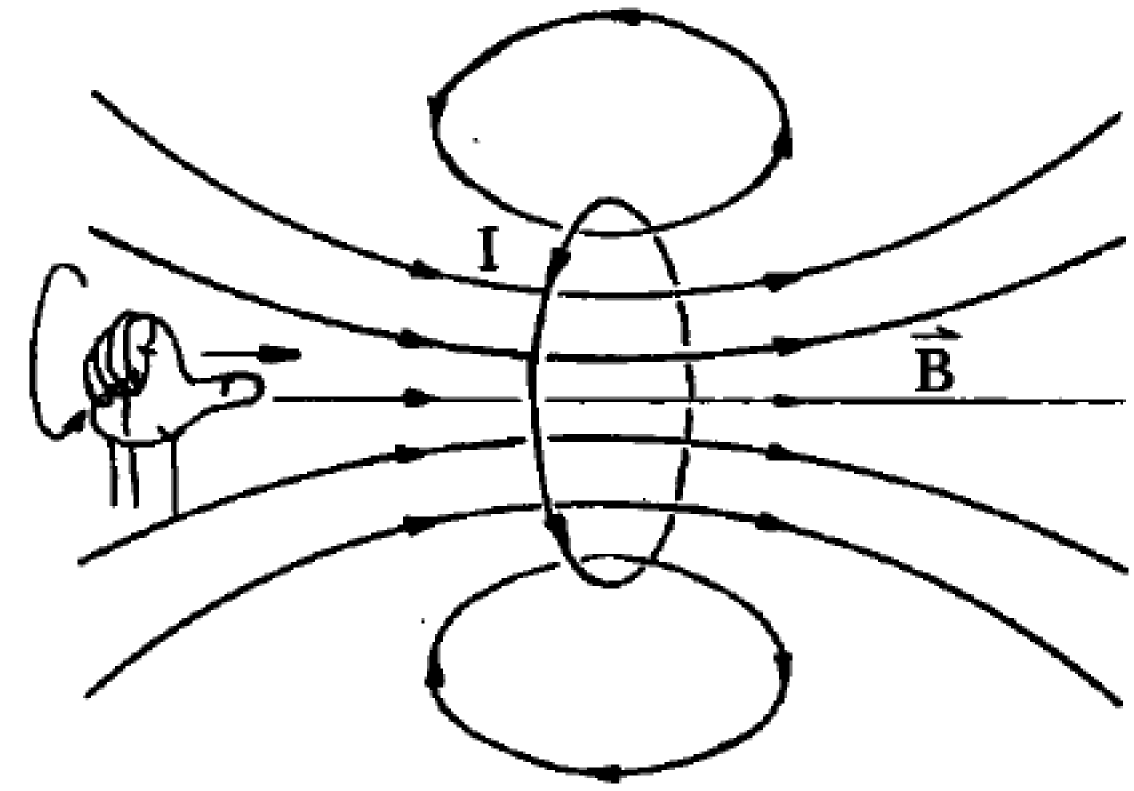


圖 13 — 22　圓形電流的磁力線

計算在一圓形電流軸線上各點的磁場，首先以數學的觀點來說在P點的合磁場B，乃為由組成電路的每一小段或長度基素dl 在該點所產生的許多微小或基本磁場dB相加所得的總和，每一基本磁場為

$$dB=\frac{\mu_0}{4\pi}I\frac{\overrightarrow{u_T}\times\overrightarrow{u_r}}{r^2}dl$$

不過，此方程式不能視為一獨立的敘述。在一圓形電流的情況下，圖13—23 中之向量積 $\overrightarrow{u_T}\times\overrightarrow{u_r}$ 係與平面PAA'垂直，並因此二單位向量互相垂直，故其大小等於一。所以，由長度基素 dl 在P所產生的磁場$d\overrightarrow{B}$的大小為

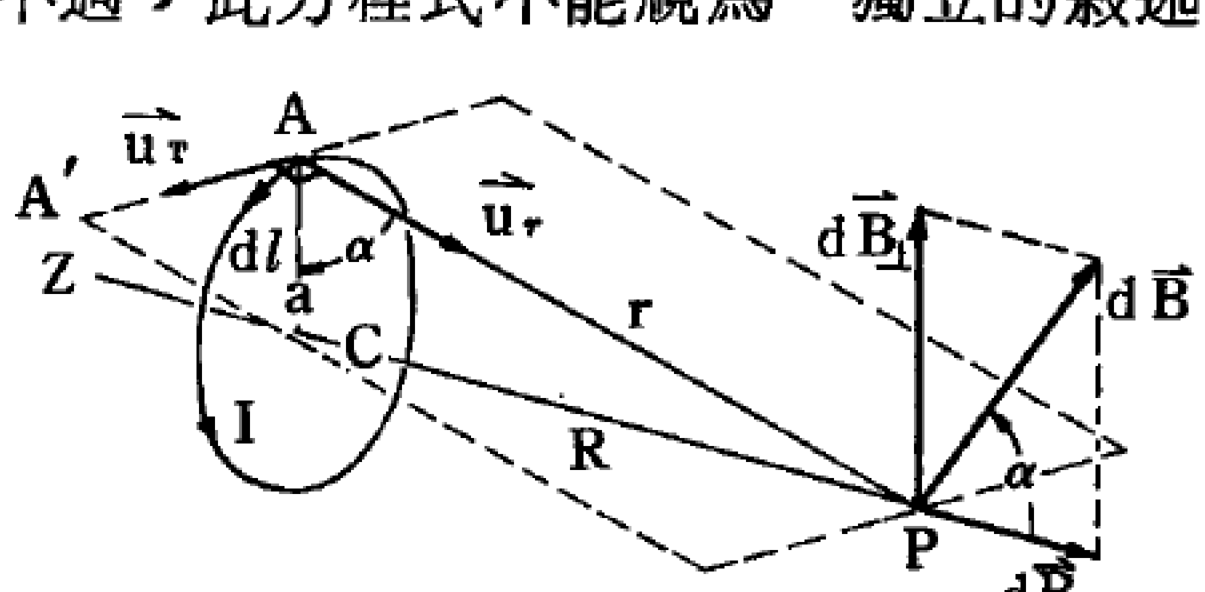


圖 13 — 23
計算一圓形電流沿其軸線的磁場

$$dB=\frac{\mu_0}{4\pi}I\frac{dl}{r^2}$$

此磁場與平面PAA'垂直，於是與Z軸交成一角度。今將$d\vec{B}$分解爲兩個分量，一分量$d\vec{B}_{\parallel}$平行於軸線，另一分量$d\vec{B}_{\perp}$與軸線垂直，當我們沿圓周積分時，對每一$d\vec{B}_{\perp}$而言，均有另一相對的反向之分量存在，這分量係由dl正對面的長度基素所產生，故將所有向量$d\vec{B}_{\perp}$相加，其和爲零，因此合磁場$\vec{B}$將爲所有量之$\vec{B}_{\parallel}$的和，因而其方向與軸線平行。今因$\cos\alpha=a/r$，所以

$$dB_{\parallel}=(dB)\cos\alpha=\frac{a}{r}dB=\frac{\mu_0 Ia}{4\pi r^3}dl$$

當我們圍繞圓周積分時，距離r保持不變。於是，因

$$\oint dl=2\pi a$$

由此得出合磁場之大小爲

$$B=\oint dB_{\parallel}=\frac{\mu_0 Ia}{4\pi r^3}\oint dl=\frac{\mu_0 Ia^2}{2r^3}$$

注意$r=(a^2+x^2)^{1/2}$，故在圓形電流軸線上各點的磁場可寫爲

$$B=\frac{\mu_0 Ia^2}{2(a^2+x^2)^{3/2}}$$

【圓周上之駐波】（Standing wave on circle）

假定電子描述一圓軌道，如圖13—24中所示者，就一圓軌道而言，電子之動量p爲一常數，欲使軌道相應於一穩定態，軌跡必須能維持波長$\lambda=h/p$之駐波似乎是很合理的事。由圖13—24可看出，軌道之長度等於λ之整數倍，即

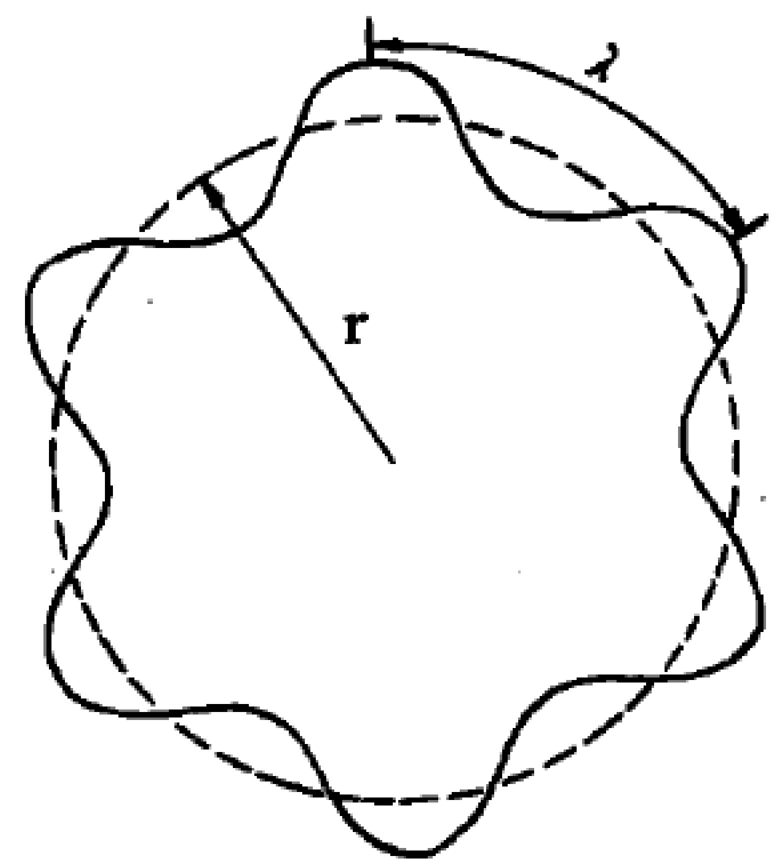


圖13—24　圓周上之駐波

$$2\pi r = n\lambda = \frac{nh}{p} \quad 或 \quad rp = \frac{nh}{2\pi} \qquad (1)$$

rp 爲電子之角動量，由此可見，穩定態乃係電子角動量爲 $\hbar = h/2\pi$ 之整數倍的那些軌道。又因 $p = mv$，故亦可將（1）式寫爲

$$L = mvr = n\hbar \qquad (2)$$

此式表角動量之量子化。然而，當論及海森堡測不準原理（ *Heisen-berg's uncertainty principle* ）時，如吾人所指出者，欲明確地定出氫原子中一電子之軌道，係不可能者，吾人所能夠談論者，僅係更可能發現電子之區域，因此，（2）式爲不正確。在一詳細的分析指出，軌道角動量之容許值應由

$$L = \sqrt{l(l+1)}\,\hbar$$

所定，式中 $l = 0, 1, 2 \cdots\cdots$。

【圓周運動】（Circular motion）

假設一質點作圓周運動。由圖13—25可得 $R = r \sin\gamma$，因此我們可將式 $v = \omega R$ 改寫爲 $v = \omega r \sin\gamma$，此式指出下列向量關係式適用於大小及方向二者

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \qquad (1)$$

由 $\vec{a} = d\vec{v}/dt$，我們可以計算加速度。當圓周運動爲等速圓周運動時，角速度 $\vec{\omega}$ 爲常數，因 $d\vec{r}/dt = \vec{v}$，故得加速度爲

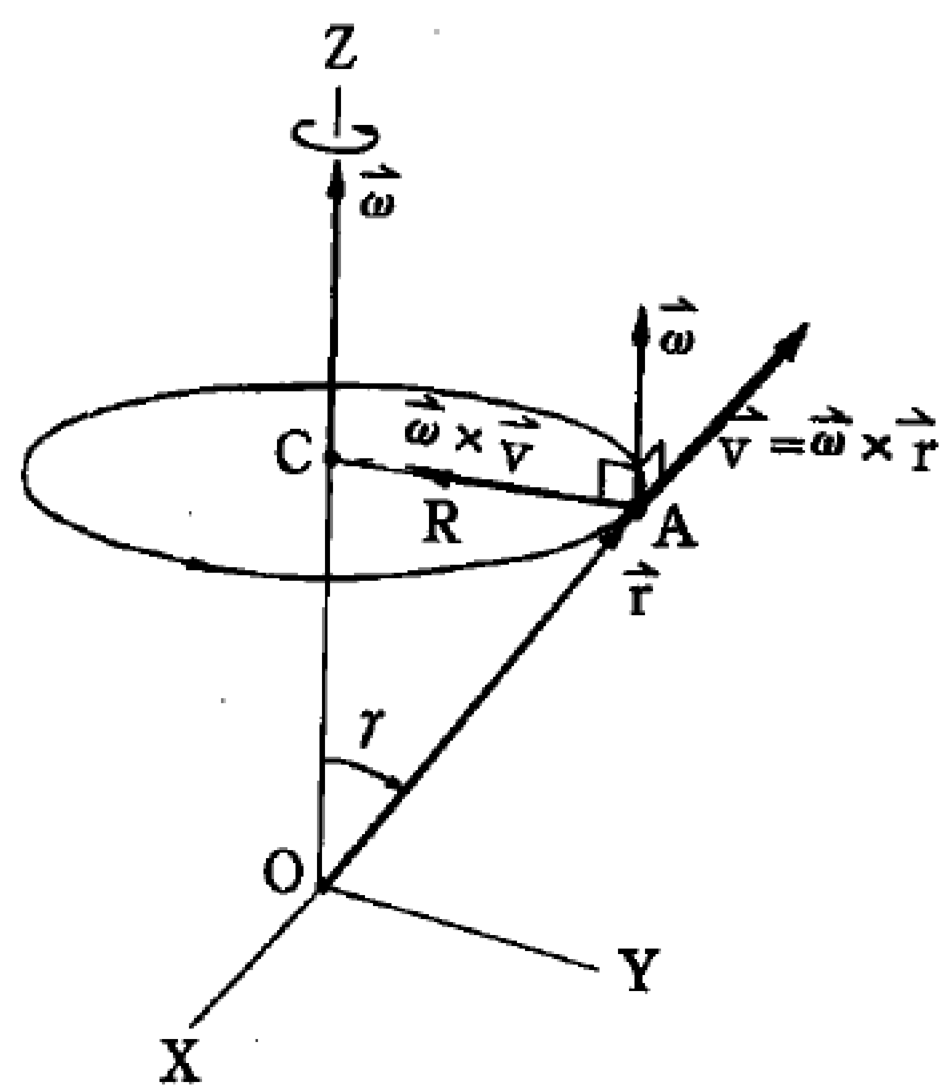


圖 13 — 25

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{\omega} \times \vec{v} \qquad (2)$$

更有進者，假如應用（1）式，加速度亦可寫爲

$$\vec{a}=\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r})$$

由圖 13 — 25，可見向量$\vec{\omega}\times\vec{v}$指向圓的中心，所以在等速圓周運動中加速度垂直於速度並且指向向內的輻射方向上。因此由（2）式所得的加速度爲法線，或向心加速度$\vec{a}_N$。

因爲$\vec{\omega}$垂直於$\vec{v}$，故得$\vec{\omega}\times\vec{v}$的大小爲$\omega v$。應用$v=R\omega$，向心加速可以下列二式中任一式表示

$$a_N=R\omega^2 \quad \text{或} \quad a_N=\frac{v^2}{R}$$

因在等速圓周運動中，速度的大小始終保持一定。所以在運動進行中，加速度係由速度的方向發生變化而引起。

在一般非等速圓周運動中，速度的大小與方向二者均發生變化。速度的大小發生改變能引起切線加速度a_T。由$a_T=dv/dt$，並且已知$v=\omega R$，故得在圓周運動中

$$a_T=R\frac{d\omega}{dt}=R\alpha$$

質點的合加速度，$\vec{a}=\vec{a}_N+\vec{a}_T$，已如圖 13 — 26 所示。

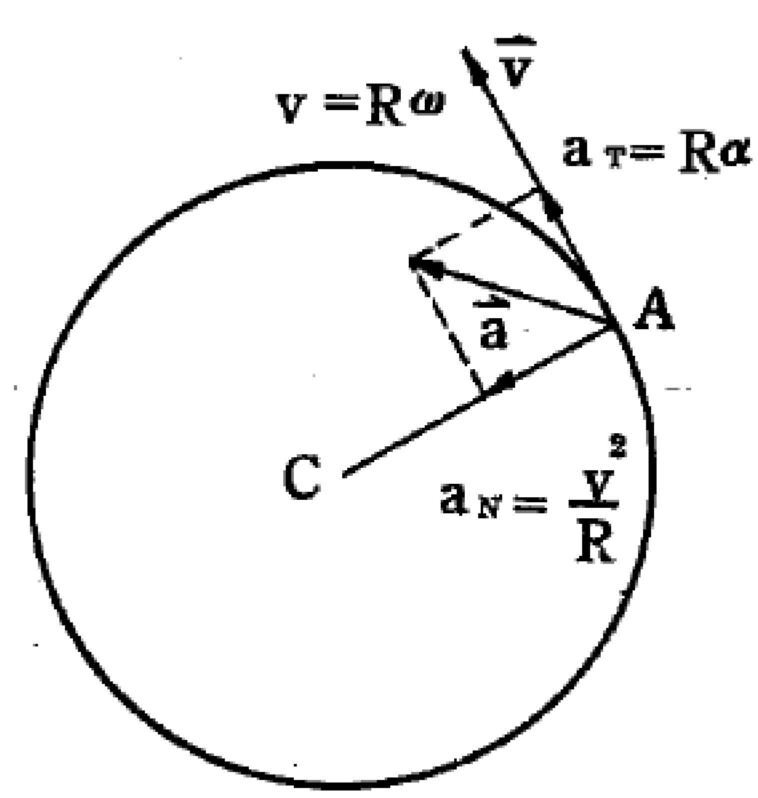


圖 13 — 26
圓周運動中之切線與法線加速度

茲將圓周運動的關係式摘要如下：

等速圓周運動

$\alpha=0$

$\omega=$常數

$\theta=\theta_0+\omega(t-t_0)$

等加速圓周運動

$\alpha=$常數

$\omega=\omega_0+\alpha(t-t_0)$

$$\theta=\theta_0+\omega_0(t-t_0)+\frac{1}{2}\alpha(t-t_0)^2$$

$$v = R\omega$$

$$a_N = \omega^2 R$$

$$a_T = R\alpha$$

【圓周與直徑的比值】(The radio of circle and diameter)

用希臘字π(Pi)代表，約爲3.1416，爲一個超越數。

【圓柱式天線】(Cylindrical antenna)

電視發射用的天線，爲一大直徑之銅管所製成。

【圓型起偏器】(Circular type polaroid)

垂直反射光的消除與斜向反射光不同；在斜向反射中，布如士特角(*Brewster's angle*)可使得反射光束線偏振，再藉著線起偏器(*linear polaroid*)便可將反射光完全吸收。但是垂直的反射光由於入射與反射的射向皆垂直於平面，故不起偏振，若要使平面下的光線自由透過，則鏡面垂直反射光的消除便成了個大問題。

這個問題對一個雷達操作員十分重要，因通常顯現於示波器幕上的綠光極其微弱，加之外界的映像，如燈光、人影、衣物等的干擾，使得信號的判別頗爲困擾。如果除去燈光以消除反射反而不方便，所以需要一種濾光鏡以保留鏡後的光源並除去垂直的反射光。

圓型起偏器正好迎合此項需求。此裝置若放於螢光幕前雖然會將幕後光源強度減半，然而也會使得垂直反射的室內映像除去百分之九十九左右。圓型起偏器對於室內反射映像的處理經過二道手續：先將投射於幕上的室內映像圓偏振，然後再將反射部分吸收，其主要是利用兩個原理：

1. 垂直入射的光束與玻璃鏡面反射光有相同的偏振度，是因爲反射的過程並不增加其亂度。

2. 反射的過程改變偏振旋向。因旋向依傳播方向而定，反向傳播也同時反旋向。

假如起偏器是右旋圓型起偏器，如圖 13 — 27 中的裝置，室內的映像光束穿過圓起偏器而到達螢光幕上時是右旋圓偏振；反射後便呈左旋圓偏振與偏振型式無關。這並不是個好現象，因進入眼睛的光線包含大部分的水平振動光波，原因是：

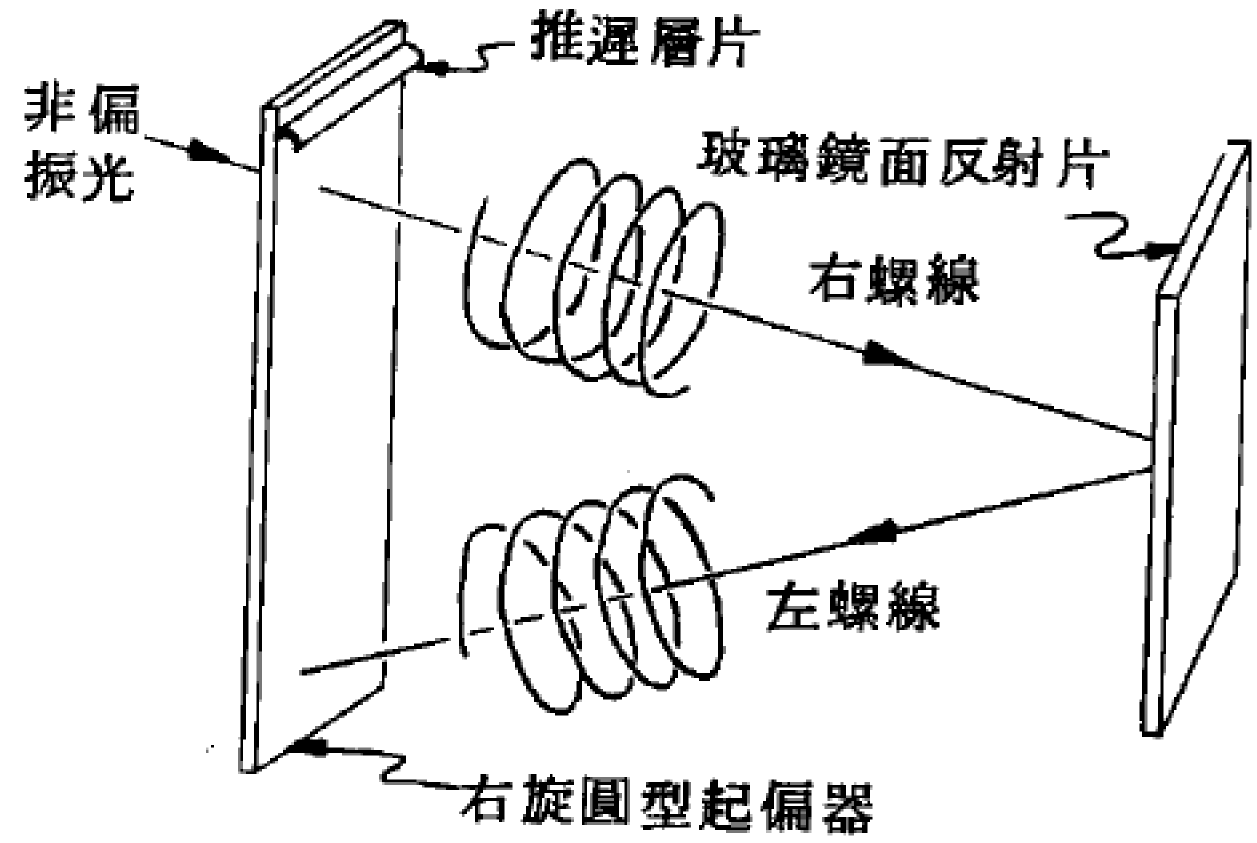


圖 13 — 27
圓型起偏器用以吸收垂直入射光的反射情形

(1)主要的光源（太陽光）是來自頭頂，所以光通量朝下。

(2)物體最易照明的部分在水平方向。

(3)人眼通常不是垂直方向視物。

(4)大部分的戶外物體都是絕緣體（介電質）。

(5)自水平介電質面上的反射光波呈部分偏振，其主要振動方向在水平方向。

偏振太陽眼鏡由二向色物質（通常用H片）製成，使得透射軸在垂直方向而將大部分的水平振動分量吸收，如圖 13 — 28(*a*)所示。圖中(*b*)為透射軸水平，以除去車窗、櫥窗的垂直振動反射光。圖中(*c*)為透射軸在 45° 與 −45°，可用來看立體電影。一般還加入些無向性吸收物質以大量吸收紫外線與部分的藍光、紅光，所以戴太陽眼鏡視物呈藍綠色。

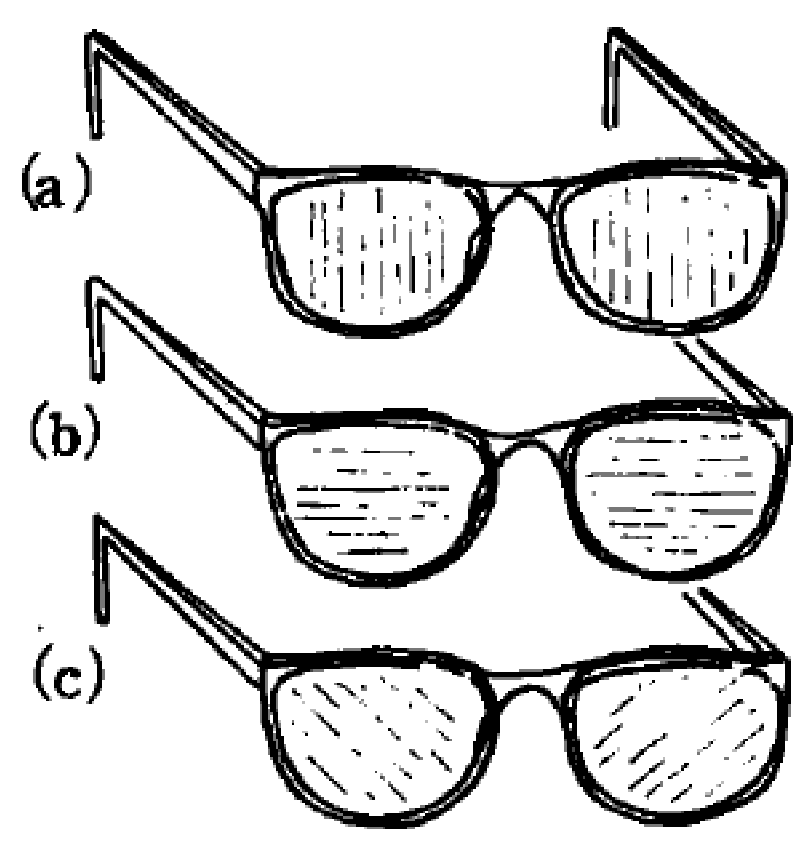


圖 13 — 28
三種偏振眼鏡

一般偏振太陽眼鏡除了可減弱視野的明度外，尚可增加視覺的美感，故甚為司機及旅遊者所歡迎。由於反射光最易被鏡片吸收，故一般景色在透過起偏器後便顯得更為柔和與深沉，揭開了自然的內在美。

水面下的物體因光線微弱，難以辨認，加以物體表面耀眼的斜向反射的干擾，所以水底的東西更是看不淸楚，因此漁夫與舟子們更是樂得使用太陽眼鏡；因爲偏振太陽眼鏡將高度水平偏振的反射光吸收後，使得水底下的東西能夠顯現出來。起偏器、玻璃幕使入射光偏振，轉換旋向，再吸收，假如玻璃幕的兩面都很平滑，入射光垂直進入而且起偏器確是圓型，則反射光將完全被吸收。通常由於螢光幕上的粗糙塗料，曲面的影響，致使入射光不是垂直射入，或是由於起偏器本身的問題，使得效果並不理想，但已經使得螢光幕上的明晰度增加不少。要留意的是，起偏器本身的反射必須避免，不使起偏器向前傾斜而現出地面的映像。

電視機的銀幕也有類似的裝置，在強烈的室內光線下，圓型起偏器可將鏡面的反射眩光除去，使得影像對眩光的強度提高到十倍以上。

【圓型推遲器】(Circular retard)

有些晶體在適當的角度下會將入射光束分解爲兩個分量，一爲右旋圓偏振光，一個爲左旋圓偏振光，其中之一速率較慢，因而我們便有可能製作一個圓型推遲器（所謂圓型二字與推遲器的幾何形狀無關，而是代表光線在晶體中的偏振型式）。此外，還有橢圓型推遲器，顧名思義，它所產生的折射光其偏振型式是橢圓型。有些液體也可以作爲圓型推遲器，甚至在某種狀況下氣體也有如此的功能。

用以製作圓型推遲器的材料稱爲旋光性（ *optical activity* ）物質或是旋光器（ *rotator* ），都具有圓型雙折射率差。圓型雙折射率差永遠與晶體材料構造中之旋性（ *handedness* ）有關，單一石英晶體所具有的旋性不是右旋就是左旋。這類晶體是分別依光線的進行是平行、傾斜或是垂直於光軸而表現出圓型、橢圓型或者是線型的雙折射率差。

【圓軌道速度】(Circular orbital velocity)

使火箭能夠由地面升起並進入圓軌道之速度稱爲圓軌道速度。在太空學上，圓軌道速度簡稱軌速（*orbital velocity*）。

【圓密耳】（Circular mil）

導線橫截面積單位，其直徑爲 0.001 吋。

【圓偏振】（Circular polarization）

圓偏振爲橢圓偏振（*elliptical polarization*）的特殊情形。可分爲左旋圓偏振（*left circular polarization*）及右旋圓偏振（*right circular polarization*）。

如果 $|\vec{E_1}| = |\vec{E_2}| = E_0$，且相位相差 $\pi/2$，則

$$\vec{E} = E_0 \left(\vec{\varepsilon_1} \pm i \vec{\varepsilon_2} \right) e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)} \qquad (1)$$

是實數。選擇適當的笛卡爾坐標系，使電磁波前進方向 $\vec{k}$ 平行於 X 軸，$\vec{\varepsilon_1}$ 平行於 Y 軸，而 $\vec{\varepsilon_2}$ 平行於 Z 軸，則電場的實數分量爲

$$E_y = E_0 \cos(kx - \omega t)$$

$$E_z = \mp E_0 \sin(kx - \omega t)$$

就空間任一固定點而言，此種電場的大小，保持定值 E_0， 然而方向則隨時間變化，亦即在 YZ 面上，以 ω 等角速度掃方圓形的軌跡，如圖13—30 所示。另外從（1）式之 $\vec{\varepsilon_1} + i\vec{\varepsilon_2}$ 的向量得知如果觀察者面向

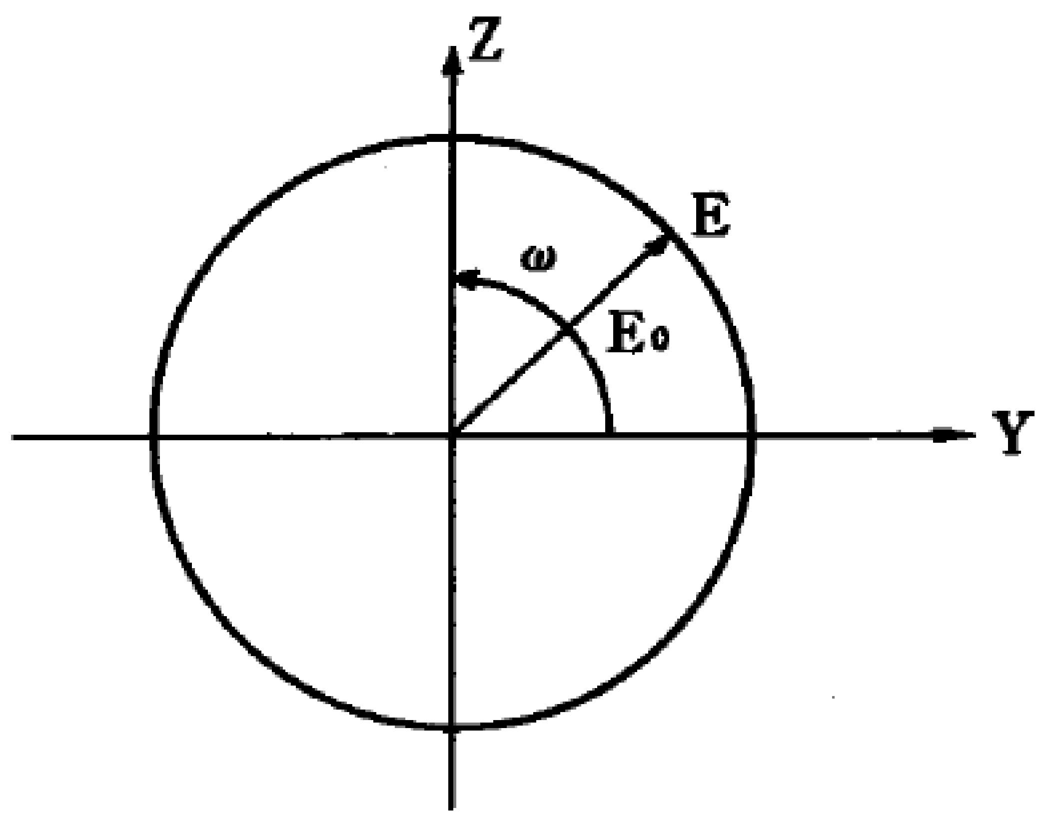


圖 13—29　電場的圓偏振

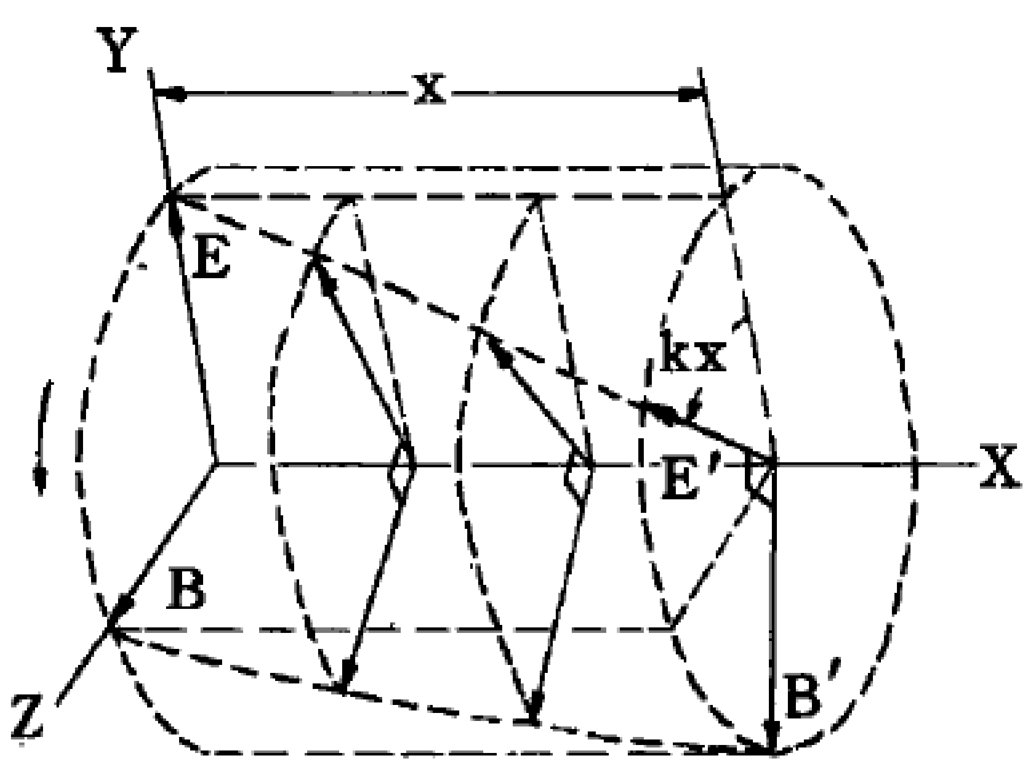


圖 13—30
平面電磁波的圓偏振

著波的前進方向，則電場的旋轉是反時針方向，故稱爲左旋圓偏振或正

螺旋性（*positive helicity*）。相反地，在（1）式的$\vec{\varepsilon_1}-i\vec{\varepsilon_2}$向量，表示順時針方向的旋轉電場，故稱爲右旋圓偏振或負螺旋性（*negative helicity*）。

【圓偏振光】（Circularly polarized light）

如圖13—31之面偏振光垂直射至厚度爲x之雙折射（方解石）塊上，其光軸平行於表面。且入射光的振動面方向與光軸成45°角。則光線在入射點O即分成強度相等的二分量，其一沿光軸方向X振動；另一沿與光軸垂直的方向Y振動。此二振動初入射於O點時的相位相同，其振動方程式可寫爲

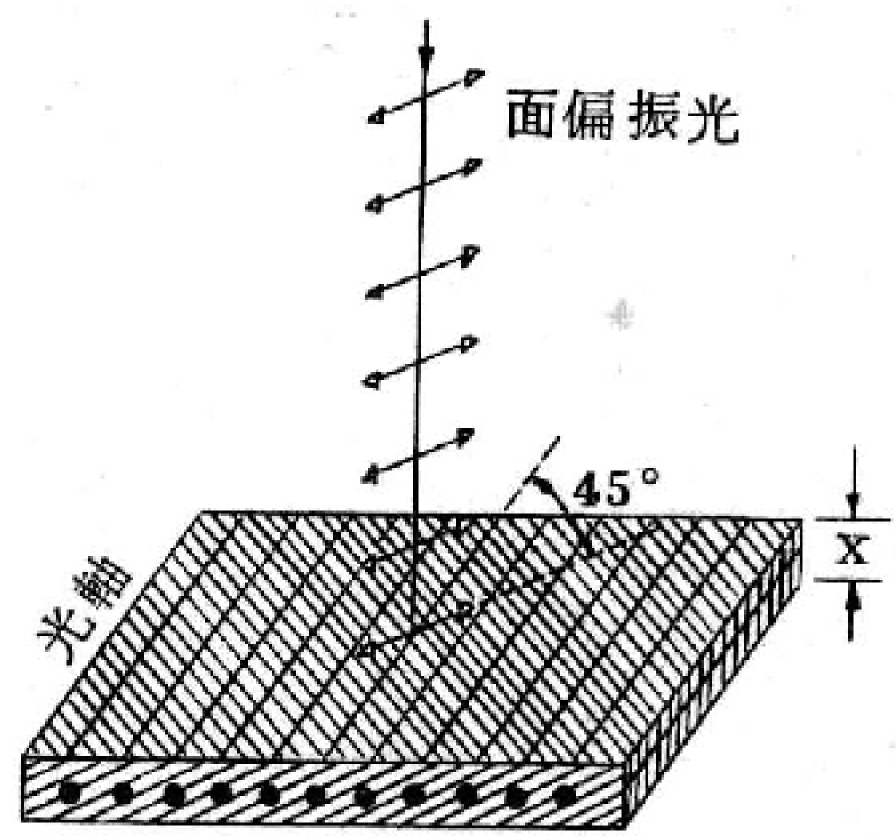


圖 13 — 31

$$V_x = a \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

及 $$V_y = a \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

振動V_x 在晶體內的主截面上以非常光的速度V_e前進，而振動V_y則與晶體的主截面垂直，且以尋常光的速度V_0前進。因x爲晶體厚度，則通過晶體後此二振動方程式爲

$$V_x = a \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v_e} \right) = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{n_e x}{\lambda} \right)$$

$$V_y = a \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v_0} \right) = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{n_0 x}{\lambda} \right)$$

而相位差爲

$$\phi = 2\pi \left(n_0 - n_e \right) \frac{x}{\lambda} = 2\pi \frac{\delta}{\lambda}$$

式中$\delta = (n_0 - n_e) x$是光程差。

將此二振動合併觀之，通常爲橢圓運動，面偏振光穿過平行晶片（

卽晶片面與光軸平行者）後就成爲橢圓偏振光。橢圓的平面與光前進方向垂直，橢圓的形式則視晶片的光程差 δ 而定。

若晶片的厚度 x 恰能使光程差等於四分之一波長（或其奇數倍），

卽
$$\delta=(n_o-n_e)x=\frac{\lambda}{4}$$

則穿過後的二振動的相位差爲 $\frac{\pi}{4}$，而成圓運動，乃得圓偏振光。此厚度的晶片稱爲四分之一波片，方解石的四分之一波片厚 0.8 微米，水晶約 15 微米。

尼可耳稜鏡（*Nicol's prism*）（或其他面偏振光起偏器）配以四分之一波片卽成圓偏振光起偏器，亦可用作圓偏振光檢偏器。

【圓偏振波】（Circularly polarized wave）

與進行方向垂直之平面上作圓周運動之波浪，皆稱爲圓偏振波。

【圓塊式電路】（Lumped-constant circuit）

在極高頻率的諧振電路，LC 值常甚小，通常不能用普通線圈及電容器擔任之。因爲必須高 Q 值然後勝任，圓塊電路則建立在此原則上，其構造是由兩個圓盤由幾個自感環連合成功諧振電路。自感環因並聯關係，感應量甚微。此種電路 LC 的連接法是內在的，故極適合極高頻率用。

【圓運動】（Circular motion）

當質點在以原點爲圓心 O，半徑 r 之圓周上運動時，經過 t 時刻的坐標爲

$$x=r\cos\phi(t)$$
$$y=r\sin\phi(t)$$

角速度 $\dot{\phi}=\omega$ 爲一定（等速圓運動）時，圓運動乃爲 x，y 兩方向簡諧運動的合成。速度和加速度的大小分別爲 $v=r\omega$ 和 $a=r\omega^2=v^2/r$，加速度向圓心方向。若質點的質量爲 m，則作用於質點的力 $mr\omega^2$ 稱爲向心力（*centripetal force*）。

【圓盤錄音】(Disc recording)

圓盤錄音是最早發明的錄音技術。錄音的器材是用蠟盤或塑料作成圓形，將聲音記錄在螺旋形的波形音槽（ *groove* ）中，所以稱爲圓盤錄音。最初是用機械（即彈簧或發條）的力量完成錄音及放音的工作，故又稱爲機械錄音。通常我們將放音的機器稱爲留聲機（ *phonograph* ）。近年來機械力帶動的留聲機已不再存在，所有的唱片（ *record* ）都是由電動的唱機（ *record player* ）播放了。

圓盤錄音分錄音及放音二部分。通常錄音部分，是由專業人員在錄音室中，將聲音的變化記錄於蠟盤上。記錄的方法是在蠟盤上用針刻上螺旋形的音槽，由外圈漸漸轉入內圈，將聲音的變化（包括強弱及頻率等）眞實地變成音槽的波形。其波形的幅度大小及頻率與所記錄的聲音完全相同。然後，將此一蠟盤很精細地做成一個模子，唱片就是由這個模子中一張張的鑄造出來。而放音（ *play* ）是將唱片放在留聲機或電唱機上，使儲存在唱片音槽中的機械脈衝（ *mechanical impulse* ）轉爲電脈衝（ *electrical impulse* ）。

圓盤錄音的特性是把音響錄入唱片上，所用的刻音針頭（ *cutting cartridge* ）或錄音針（ *stylus* ），亦有晶體式及電磁式二種。一般所採用的錄音方式有固定速度錄音（ *constant velocity recording* ）及固定振幅錄音（ *constant amplitude recording* ）兩種，在錄音時同時交互採用。

固定速度錄音是把錄音針的速度（ $=2\pi f\times$ 音槽的振幅）固定不變；固定振幅錄音是把錄音針的振幅固定不變，即不隨頻率而變化。

通常圓盤錄音都有一個轉換頻率（ *turn over frequency* ），在較轉換頻率高的聲頻出現時，用固定速度錄音；在比轉換頻率低的聲頻出現時，用固定振幅錄音。這個轉換頻率的存在，是因爲採用固定速度錄音時，聲頻愈低，則振幅愈大，如圖 13 — 32(*a*)中虛線所示的波形。如果

一直採用固定速度錄音，則在低聲頻時，錄在唱片上的音槽就愈粗。爲了節省唱片的位置，以延長每張唱片的錄音時間起見，對於低聲頻部分的錄音必須抑低它的振幅，所以採用了固定振幅錄音的方式。圓盤錄音的轉換頻率任由各唱片公司自己選定，通常有 300*Hz*、500*Hz* 及 800*Hz* 等三種。

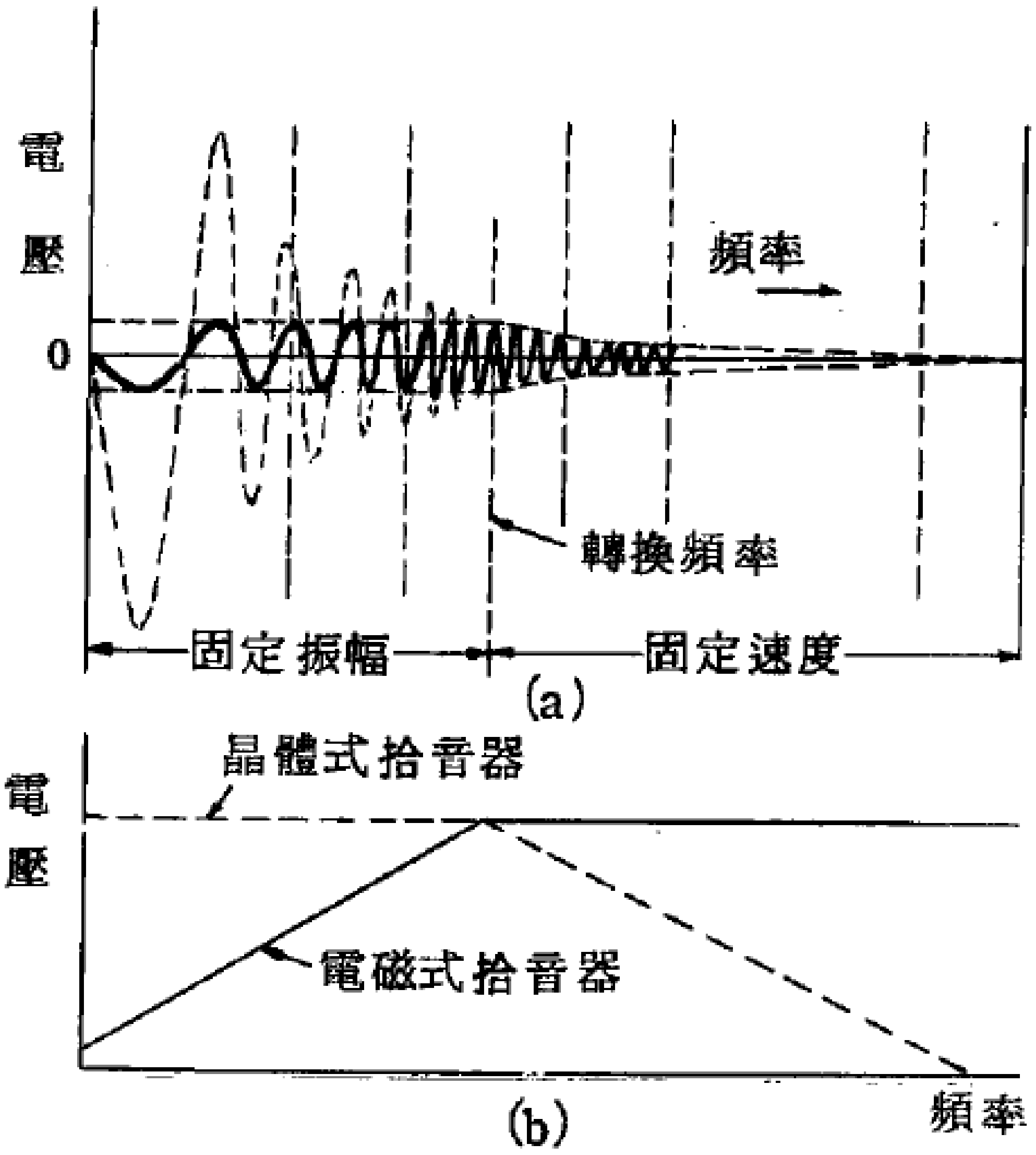
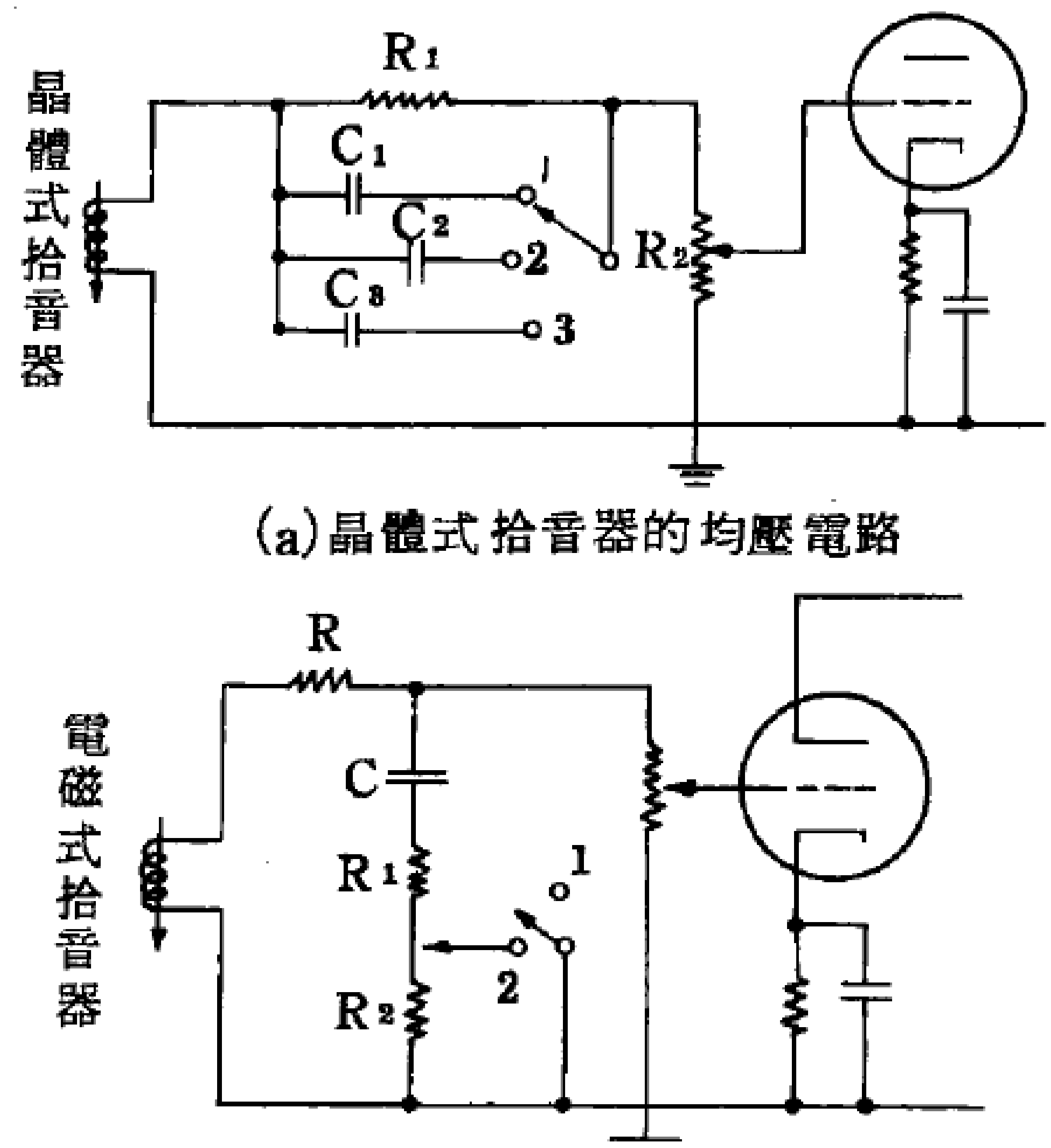


圖 13 — 32　圓盤錄音的特性

因爲唱片錄音情形如上，所以在轉換頻率以下的低聲頻的輸出較弱；在轉換頻率以上的中高音的輸出較強，而且平穩。



(a)晶體式拾音器的均壓電路

(b)電磁式拾音器的均壓電路

圖 13 — 33

基於上述的原因，放音時的電唱機電路，除了設計放大器以外，還需要隨所採用的拾音頭爲晶體型或爲電磁型，設計一種稱爲均壓器（*equalizer*）的*RC* 電路，來改良唱片的錄音特性。

在圖 13 — 32(*b*)中，實線是電磁拾音器的響應特性；虛線是晶體式拾音器的響應特性

。

均壓電路如圖 13—33(*a*)中所示的爲晶體式拾音器所採用，圖(*b*)所示的爲電磁式拾音器所常採用。

圖(*a*)爲 RC 並聯電路，也是低聲頻衰減電路。它的目的是要衰減由晶體式拾音器中所產生的較強的低聲頻電壓。

設 f_t 爲轉換頻率

$f_{t1} = 300\,Hz$

$f_{t2} = 500\,Hz$

$f_{t3} = 800\,Hz$

由公式 $f_t = \dfrac{1}{2\pi CR}$

固定圖中 R 值爲 $2M\Omega$，則

在 1 點 $f_{t1} = 300\,Hz$ $R = 2M\Omega$（10^6 歐姆）

$$C_1 = \frac{1}{2\pi\,300 \times 2 \times 10^6} = 250\,\mu\mu F \text{（}10^{-12}\text{ 法拉第）}$$

在 2 點 $f_{t2} = 500\,Hz$ $R = 2\,M\Omega$

$C_2 = 160\ \mu\mu F$

在 3 點 $f_{t3} = 800\,Hz$ $R = 2\,M\Omega$

$C_3 = 100\ \mu\mu F$

圖(*b*)爲 RC 串聯的低聲頻增強電路，其轉換頻率僅有 $f_{t1} = 300\,Hz$ 及 $f_{t2} = 500\,Hz$ 兩種（開關接點 1 及 2）。固定 $C = 0.1\,\mu F$，R_1 及 R_2 可分別求出爲 $3\,K\Omega$ 及 $2\,K\Omega$。

圓盤錄音因爲是機械錄音，無論是在錄音或再生時都可能引入許多雜音，尤其是通常圓盤錄音所複製的唱片，在製作及貯存時，因碰撞劃割等因素，都可能導致產生雜音，茲歸納說明如下：

1.回聲（*echo*）—— 在唱片的再生放音時，一條音槽與另一條

音槽中的聲音會同時出現，其原因有下列幾種：(1)錄音時的過調（*over-modulation*）。(2)音槽過深。(3)再生時唱針壓力不夠。(4)唱針針尖太粗。

2.表面雜音（*surface noise*）——又稱摩擦雜音（*scratch noise*）或背景雜音（*background noise*），其原因有下列幾種：(1)音槽中積有灰塵。(2)錄音時音槽刻劃不當。(3)錄音時音槽刻劃過深。

3.音槽跳越（*groove jumping*）——拾音唱針跳出音槽的現象，其原因有：(1)音槽太淺（*shallow groove*）。(2)唱針太粗。(3)唱針壓力不夠。(4)轉盤轉動時過度的上下振動。

4.音槽滑動（*groove skating*）——唱針尖在音槽壁上作上下溜動的現象，其原因有：(1)唱針壓力太小。(2)唱針損壞。

5.抖動（*flutter and wow*）—— 其原因有：(1)惰輪橡皮變形變質。(2)馬達滑輪偏心。(3)轉盤與惰輪間有滑動現象。

6.拍節聲（*beat*）——其原因有：(1)轉盤軸承情況不佳。(2)滑輪的調節不合宜。(3)音槽有部分重疊。

【圓盤錄音機】（Disc recording set）

這類圓盤錄音機的發明與應用是距今二十年以前的事。但因為磁性錄音的進步，電磁的響應特性優於機械的響應特性，故這種錄音機的使用及圓盤的貯存等雖然亦極方便，卻終於為磁帶所取代，而曇花一現。茲將此類一方面可以錄音及一面可以放音的錄音機之工作原理，用方塊圖（*block diagram*）說明，如圖13—34所示。

錄音的時候，音波經由微音器轉變為電的變化，其強弱可由音量控制器（*volume controller*）調整，經過放大器而至刻音針頭（*cutting cartridge*），將電的變化轉為機械振動變化。此時在刻音針頭下的塑料圓盤，一方面在轉盤上順時鐘方向轉動，一方面其軸心亦以一定的速度，緩緩向內推進，使其所刻出的音槽呈由外向內的螺旋形。

放音的時候，將錄好的圓盤放在轉盤上，拾音針頭（*pick-up cartridge*）在貯有音波變化的音槽中，隨圓盤的轉動

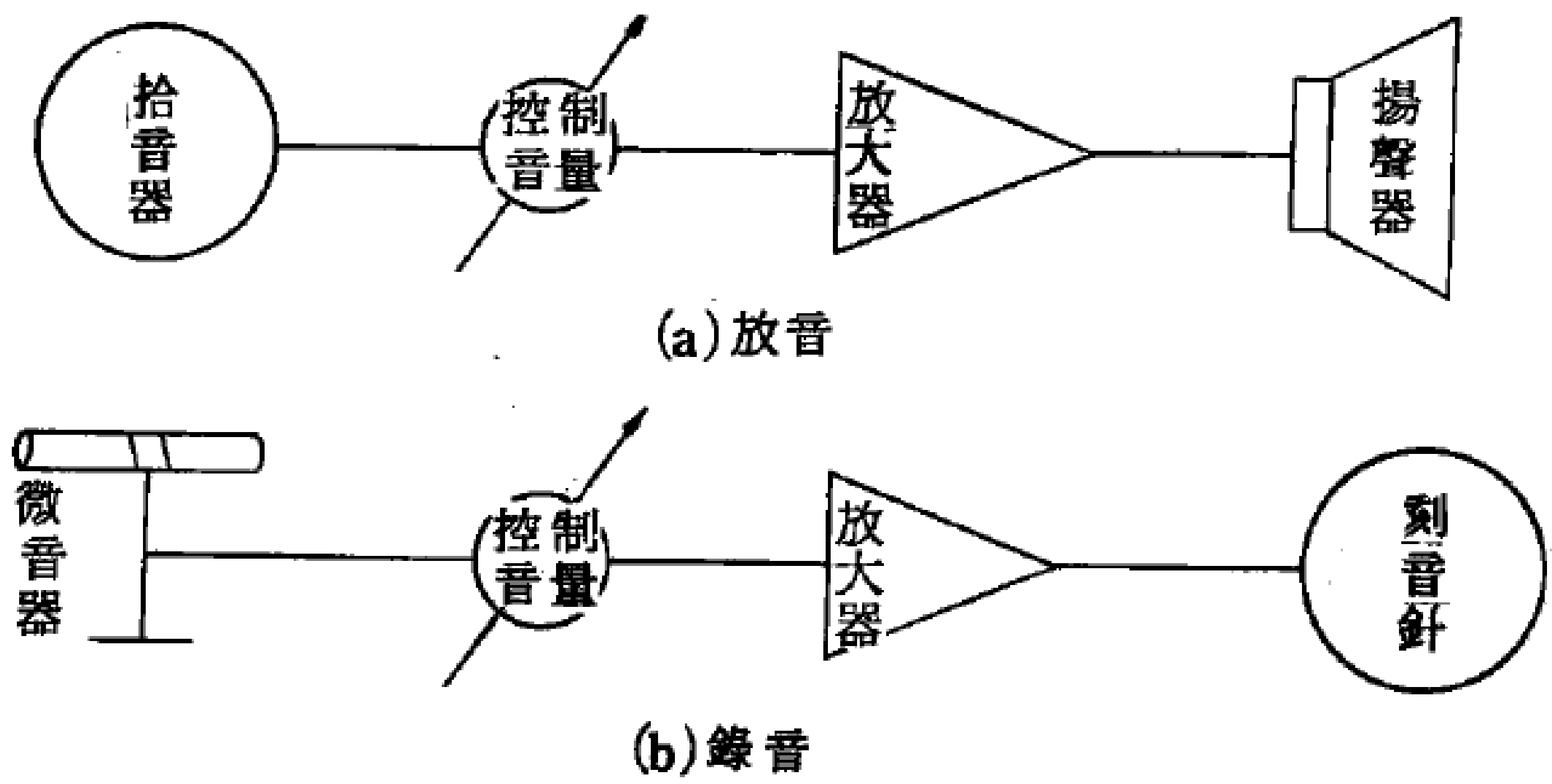


圖 13 — 34　圓盤錄音

而將機械振動的變化又轉為電的變化。這種變化由音量控制器的調整，經放大器而由揚聲器將它重行再生為原來的音波變化。

這種錄音機的使用極為方便，而且隨錄隨放，並不受任何製作上的限制，但所用的圓盤（*disc*）經錄音以後，便成為永久貯存的記錄。但不能如磁性錄音有抹音（*erase*）的作用，而且所錄的音質及傳眞度均不甚理想。

【圓錐式天線】（Cone antenna）

用於超高頻，宜於幾個相近的頻率發射用。

【圓錐紙盤】（Cone）

揚聲器之助聲裝置，當機械振動變為聲振動時，即依輻射方式直接在空氣中發生，擔任音波輻射的就是紙盤。

【圓釐】（Circular inch）

即 5.067×10^{-10} 米^2。

【塞格納水輪】（Segnersche water wheel）

這種水輪，經過幾種改變之後，就可當作花園裏的“噴水玩具”，或是草地噴水器之用。最原始的構造，是在一個空心圓筒的下端，裝上幾根水平輻射式的管子，這幾根管子的尖端都向同一個方向彎成直角的

。現在我們如果由頂端將水注入圓筒，則注入之水，便會由下端各彎管噴出。於是，全部裝置便會在彎管內的側面壓力單向作用之影響下，依照噴出水流的相反方向而轉動。當圓筒中的水柱高度減低的時候，轉動就變慢，這是因爲側面壓力也已變小之故。

【塗釷陰極】(Thoriated cathode)

一種激活陰極，其中利用在鎢表面上塗以釷薄層的方法來增加電子放射。

【塡隙位置】(Interstitial position)

在一晶體結構中，每一原子都有其固定的正常位置，而形成某一類型構造的晶體形式。故若不是由原子所正常佔有的空間位置稱爲塡隙位置。

【塑性】(Plasticity)

對彈簧加過大的力時，力移開後，就不能完全恢復原狀。這種一旦發生彈性形變在力除去後，不能恢復原狀的性質叫塑性。

通常，物體都具有彈性與塑性兩種性質。所加的力較小時呈彈性，所加的力過大時即呈塑性。亦即物體受力作用，連續且永遠變形的性質，但應力超過屈服點時，物體並未破裂。

弁安 (*Bingham*) 提出的"塑性流定律"如下：

$$F-f=(A/\mu)(dv/dx)$$

式中 F 面積爲 A，相距 dx，且以相對速度 dv 運動的兩平行層間之切應力；f 爲切力；如果 $F<f$，上式不能適用，即物質不流動。μ (因次等於"流動性") 稱爲"遷移率"。

【塑性形變】(Plastic deformation)

固體受力作用時，若應力超過彈性限度，卽使將外力除去，此彈性體也不會恢復原狀，而將永久變形，此稱塑性形變。此種變形是不可逆者。例如一完全晶體化的固體在外加的切應力下原子面間會彼此滑動。

當彈性能量增大到某一臨界值之後，原子會滑動一個原子間的距離，這就是一種塑性形變（如圖 13 — 35 ）。

如果增加應力，而抵達峯點 Y，此時，即使不再增加外力，亦可引長介質，造成塑性流（ *plastic flow* ），Y 點之應力，特稱為屈服點應力（ *yield point stress* ）， 如果外力再增加至 A 點（即此介質所能忍受的最大應力），此時較脆的介質，例如高碳量之鋼等，即行碎裂，即使較柔軟的物質，其橫截面也將大為減少，稱為頸縮（ *neck compression*）， 此後即使減少外力，由於橫截面的遽減，故真正的應力增加，直至此介質繃斷為止。

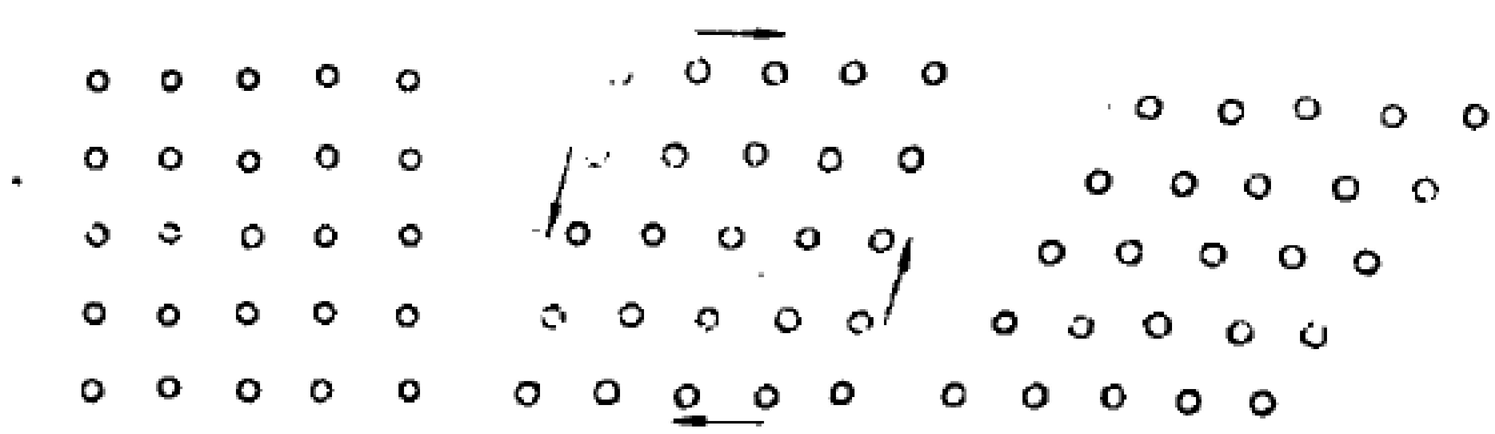


圖 13 — 35

【塑性流】（ Plastic flow ）

詳閱“塑性形變（ *Plastic deformation* ）”條。

【奧托循環】（ Otto cycle ）

即定容循環。1878 年為德人奧托（ *Otto* ）根據包德洛沙（ *Beau de Rochas* ）的理論製成一種應用頗廣的內燃機，是謂奧托引擎，許多汽車迄今仍採用此種引擎的循環過程，稱為奧托循環。此循環過程如圖 13 — 36 所示。

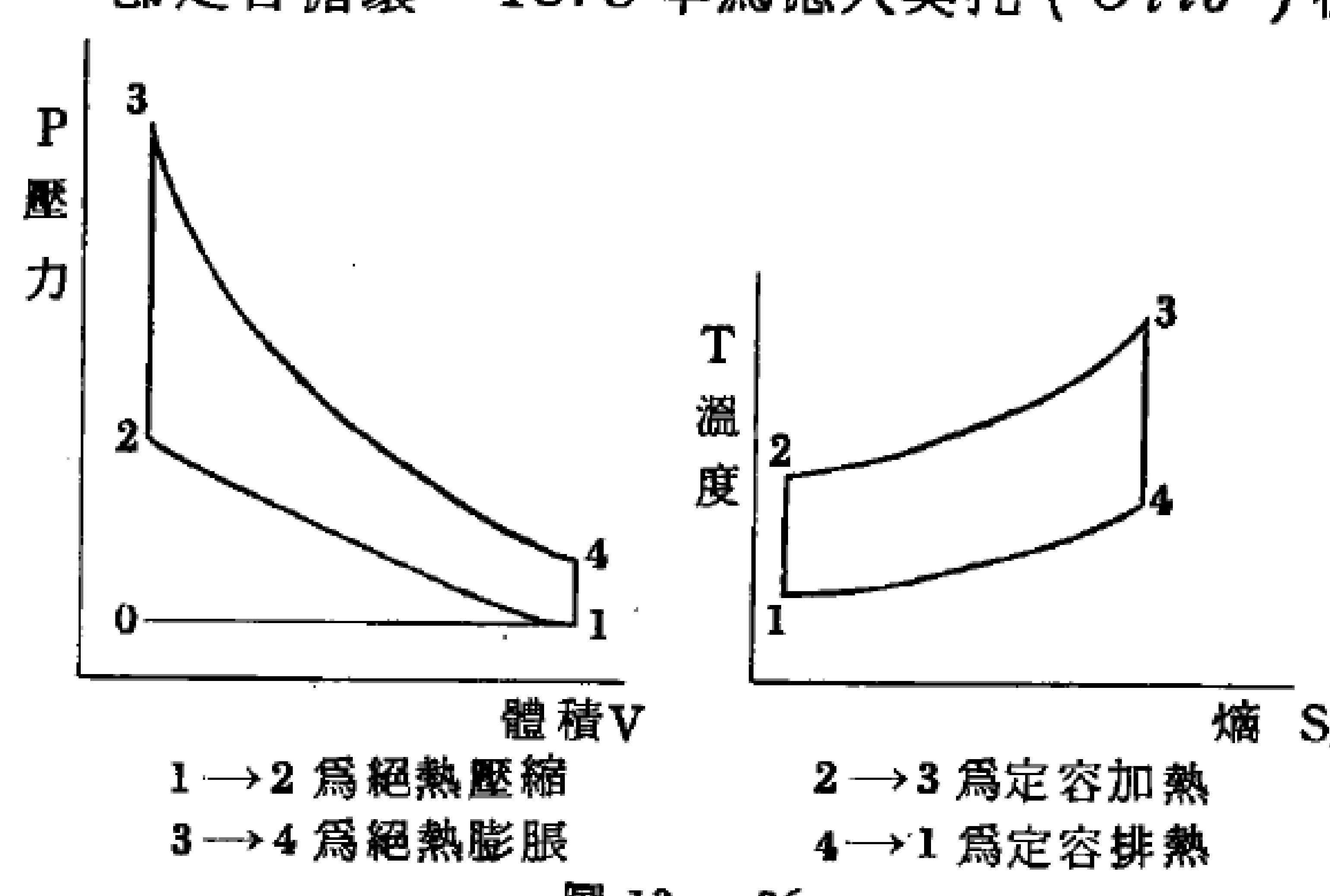


圖 13 — 36

參閱“內燃機（*Internal combustion engine*）”條。

【微】(Micro)

冠於任意基本單位之前，代表此單位之一百萬分之一。例如微伏（*micro volt*）是百萬分之一伏，微法是百萬分之一法拉等。

【微子】(Neutrino)

微子，原名爲*neutrino*，本是義大利文。意爲“小的中性東西”，命名人是費米（*Eurico Fermi*），它的符號是 ν。是一種不帶電的基本粒子（*elementary particle*），其自旋角動量量子數爲 $\frac{1}{2}$，質量幾乎可略而不計。由於它未具電荷又因其質量極小，不爲物質所吸收，因而不論何種鉛容器，或壁多厚的量熱器，皆不能關住它。在霧室中亦不能發現其軌跡，蓋因它在大氣中之游離作用極弱也。亦因如此，微子乃未爲直接觀測所測知也。在許多反應中皆有此種粒子的生成，例如貝他衰變（*beta decay*），在貝他衰變中曾發現兩類幾近相等的中性粒子，一是正貝他衰變中所發射的微子；一是在負貝他衰變中所發射的粒子，稱爲反微子（*antineutrino*），其符號爲 ν，但一般情況下皆以微子稱此二種粒子。微子亦具高度的穿透力，由太陽來的微子通常直接穿地球而過。下面略述微子發現的經過。

微子像正子（*positron*）一樣，是先由理論預測，然後再由實驗證明的。可是微子不像正子那樣，很快地就得到了證明。事實上，庖立在 1930 年就預測有微子的存在，而它的證實，卻等了漫長的 26 年！這當然是由於微子是一個非常難以探測的東西。在這漫長的 26 年中，物理學家們對它的存在之所以深信不疑。那是因爲，如果微子是不存在的話，那麼物理界很多根深蒂固的理論就要崩潰！

微子在理論上的需要，起源於貝他衰變的研究。自由中子不是一個穩定的粒子，它會經由約 10^3 秒的半衰期而衰變。衰變下來的產物，我們所能夠測量得到的，是一個質子和一個電子。這就是貝他衰變。中

子在多數的原子核內是穩定的。可是，在有一些特殊的同位素的核內，由於能量不得平衡，它也會衰變。我們稱它為核貝他衰變（ *nuclear beta decay* ）。例如鈷－60就有這種衰變的過程：

$$^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni + e^{-} + \text{測不到的東西}$$

在這些衰變過程中，衰變前的原子核的質量，總要比衰變後的原子核的質量，以及電子質量的和，來得大一些。這些質量，應該都變成電子的動能（原子核遠重於電子，因此它所獲得反彈的能量應該是非常之小）。電子不可能在原子核內存在，現在電子忽然從原子核內跑出來，這個現象只有一個解釋，那就是，電子在這個過程內被產生出來，正好像電子在原子軌道上跳動時會產生光子一樣。電子除和正子在一起外，不會單獨被消滅或產生。因為原子核的質量在衰變前和衰變後都有一定的數值，所以，衰變出來的電子也應該有一定的動能。然而，實際的量度顯示，衰變所產生的電子的能量，是一個連續的分佈（如圖13—37 所示）。原子核衰變前後質量的差額，只是相當於能譜中的最大能量。

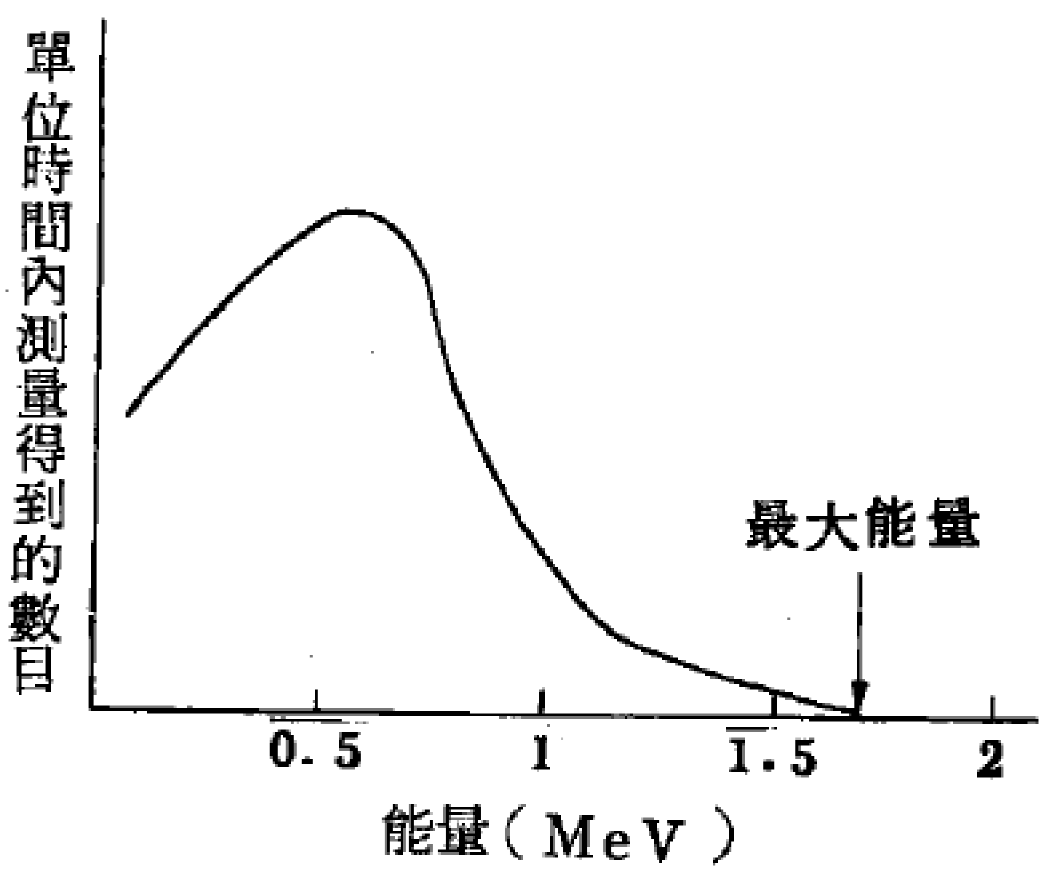


圖 13 — 37 ^{32}P之貝他線能譜

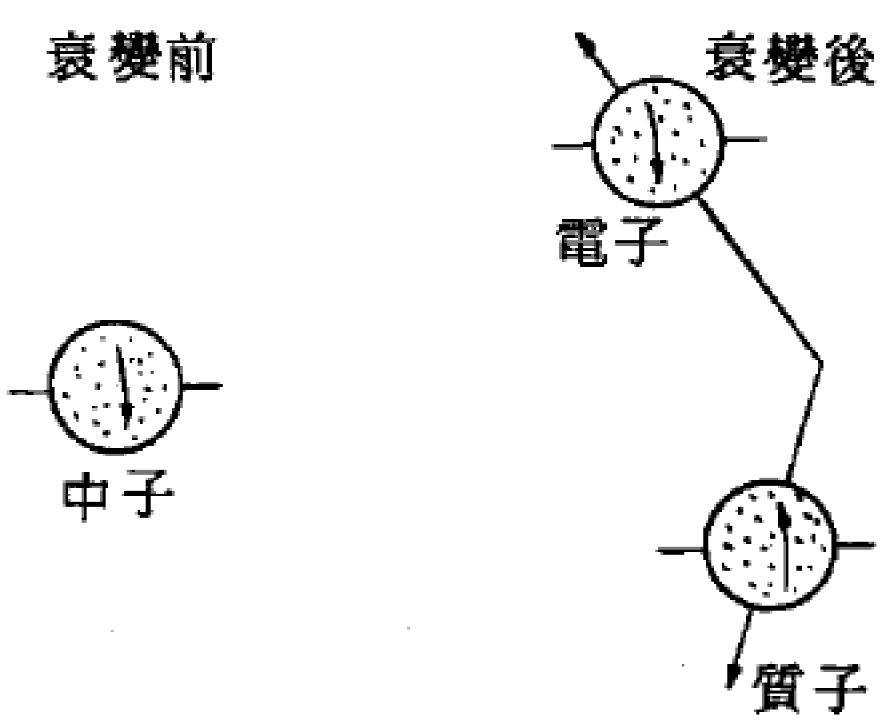


圖 13 — 38
中子貝他衰變的圖解，圖內只畫出能夠測量到的粒子。粒子的動量方向和自旋方向都用箭頭表示

就中子的貝他衰變來說，如果衰變前的中子是靜止的話，那麼根據動量守恆定律，衰變後的質子和電子應該在一直線上，作相反方向的運動。可是，實際的量度，正像圖13—38所示，電子和質子的運動方向，並不在一條直線上。

我們知道，中子是有自旋的，其值是

$\frac{1}{2}$，電子的自旋值和質子的自旋值都是$\frac{1}{2}$。二個爲值$\frac{1}{2}$的角動量相加，根據量子力學，只能夠是0或1。兩個粒子間的軌角動量（*orbital angular momentum*）也只能是整數。

能量與動量的守恆，其在理論上的根據，是時間與空間的均勻性（*homogeneity*）。角動量守恆定律的根據，是空間的無向性（*isotropy*）。這些觀念，在物理界都是非常根深蒂固的，而且，除了貝他衰變以外，也沒有什麼別的和實驗不符合的地方。因此，理論的物理學家們當然寧可另找出路，也不願意放棄這些觀念。

1930年庖立發現，如果我們假定，在中子或原子核的貝他衰變時，除了電子之外，還放出一個粒子，則一切問題都可以被解決。那個粒子的自旋值也是$\frac{1}{2}$。用以保存角動量守恆定律（如圖13—39所示）。同時，那新的粒子必須不帶電荷。這樣，一方面和電荷守恆定律不衝突，一方面也說明了爲什麼實驗不能夠測量到它。詳細的計算也顯示，能量和動量的守恆，也可以因此而被保持，只是，那個新粒子的質量，必須是非常的小。這可以從衰變的電子能譜看出來。電子能量的最大值，就是中子或原子核衰變前後的能量之差；而如果那種新粒子是有質量的話，那麼至少一部分的能量要化爲它的質量。我們現在根據細密的測量知道，它的質量少於電子質量的千分之一。而且，非常可能是零。

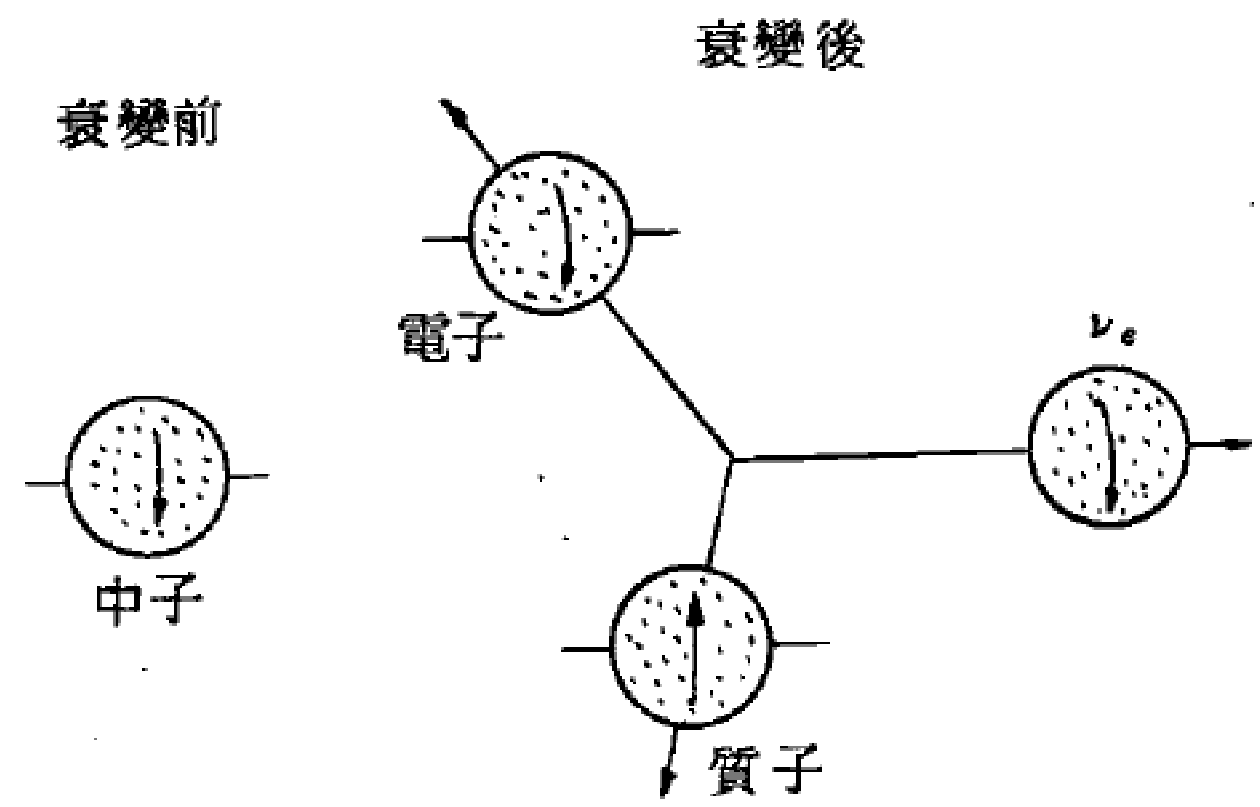


圖 13 — 39
中子貝他衰變的圖解；一個反e微子已被加上去。

這個新產生的粒子，即是微子。我們現在將它定爲反 *e* 微子。我

們可在它前面加一個 e ，因爲它是和電子一起產生的。至於最前面那個"反"字，是因爲這樣一來，我們可以有一條新的守恆定律，那也就是"電子不能被毀滅……"的推廣。我們可以規定一個新的量子數，稱爲電子數（*electron number*）。它的數值，對電子和 e 微子來說是 +1，對正子和反 e 微子來說是 − 1，對所有其他的粒子來說是 0 。所有已知的實驗，包括貝他衰變在內，都支持這個守恆定律。1934 年費米採納這個微子的假設，用以建立他對貝他衰變的理論。1956 年物理學家成功地直接觀察到反微中子 $\overline{\nu}_e$，乃是由大動力反應器的分裂物在貝他衰變時所發射而來。他們用大型液體閃爍探測器以觀測逆貝他衰變反應

$$\nu_e + p \rightarrow e^+ + n$$

式中 p 是靶質子，e^+ 和 n 是生成的正電子和中子。1957 年李政道和楊振寧預測弱交互作用的宇稱性不守恆後，對微中子的性質再予闡釋，公認爲有兩種微中子：一是在貝他衰變時隨正電子而生微中子 ν_e， 另一是在貝他衰變時隨負電子而生的反微中子 $\overline{\nu}_e$， 以反應式表之爲

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X + e^+ + \overline{\nu}_e$$

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X + e^+ + \nu$$

式中 X 代表貝他衰變的原子核，A 和 Z 爲質量數和原子序數。微中子產生時是完全偏稱者，反微中子的自旋角動量與其線動量平行，微中子則爲逆平行。

1962 年布魯海文國家實驗所由實驗發現派介子衰變時放出的微中子與貝他衰變所產生的微中子不同，因而將微中子改分爲四種，即 $\overline{\nu}_e$，$\overrightarrow{\nu_e}$，$\overline{\nu}_\mu$，$\overrightarrow{\nu_\mu}$ 。前兩種由貝他衰變或逆反應所生，屬於電子型微中子。後兩種涉及緲介子（*μ meson*）產生時所相伴放出的微中子，例如

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^+ + \overrightarrow{\overline{\nu}_\mu}$$

故屬於緲子型微中子（*mu-type neutrino*）。1964 年國際高能會議

乃建議分別定名為緲微中子（*muneutrino*）和電微中子（*elneutrino*）。在弱交互作用中，微中子是重要的基本粒子之一。

【微巴】（Microbar）

壓力的單位等於每平方厘米1達因。

【微毛】（Fuzzy）

靜電式的陰極射線管，當電子射線向螢光幕前進時，經過偏向區域即受偏向屏的影響，偏向屏不僅影響射線行進的方向，同時偏向屏上的電荷亦會影響射線加速或延滯，此項效應會使螢光幕上畫像的外圍形成微毛現象。

【微孔分氣法】（Atmolysis）

以多孔擴散作用來分辨混合氣體。

【微分度盤】（Vernier reading）

專為幼頻調節用的度盤。

【微分電容器】（Vernier capacitor）

一小型電容器與一較大之電容器並接，作精密的配諧用。

【微分學】（Differential calculus）

數學之一分科。其目的在解釋用微分運算從一有定函數導出另一有定函數之方法。若在任何變數之有定函數中，與變數以一定增量（*increment*），又求函數之對應增量，然後以變數之增量除函數之增量，則得一比，此比通常倚於變數之增量。今若使變數之增量趨於0為其極限，而使此比亦趨於其極限，則通常可得此變數之一函數；此函數稱為前函數之微分係數（*differential coefficient*）。若函數之微係數乘變數之微分（*differential*）則其結果稱為函數之微分。凡任何單變數之函數，常有一個而僅有一個微係數，因之而只有一同級之微分。

若原函數為有數變數者，則可求其於各一變數之微分，而視其他諸變數為常數是也。此種微分稱為偏微分（*partial differential*）。

又數變數之函數各偏微分之和，稱爲函數之全微分（ *total differential* ），或簡稱函數之微分。對於一變數所取之微係數，稱爲函數對於該變數所取之偏微分。函數有數變數者，全無微係數之一物。

求任何函數微分之運算，稱爲微分法。

若將任何微分再求微分，則結果稱爲二級微分（ *differential of the 2nd order* ）；若將二級微分再求微分，則結果稱爲三級微分，依此類推。一般言之，若將 n 級微分求微分，結果爲（ $n+1$ ）級微分，依此繼續求微分之運算，稱爲累次微分法（ *succesive differentiation* ），而所得之微分，按其級稱爲累次微分。

微分學共有兩部分，第一部分包括全科之理論并解釋求一切有定函數之微分及偏微分之方法。第二部分則論微分學對於算學其他各支，如代數學、三角、解析幾何、星學、力學、光角學等等之應用。

【微天平】（Micro-balance）

詳閱“微量天平（*Micro-balance*）”條。

【微瓦】（Microwatt）

百萬分之一瓦。

【微安】（Microampere；Mu A）

相當於百萬分之一安培。卽 1 微安培 = 10^{-6} 安培。

【微米】（Micron）

百萬分之一公尺。

【微伏】（Microvolt）

百萬分之一伏。

【微伏表】（Micro-voltmeter）

靈敏的伏表，極微小的電壓亦可以測得。

【微合金晶體管】（Micro-alloy transistor）

晶體管的發射極與集電極，是使用一層極薄的雜質金屬與半導體薄片製成合金而成的。

【微亨】(Microhenry)

一百萬分之一亨利。

【微形變】(Infinitesimal deformation)

所謂微形變是說物體的應變數值非常小，所以形變的高階項可以忽略。一般來說彈性體的應變必須是連續的，因此兩個應變場的發生，其總共的應變與締合的次序無關，這個關係稱爲重疊原理。如圖 13 — 40所示，當棒受應力 σ_1 時增長 u_1，受應力 σ_2 時增長 u_2，今如先作用 σ_1 次加 σ_2，則最後之位移爲

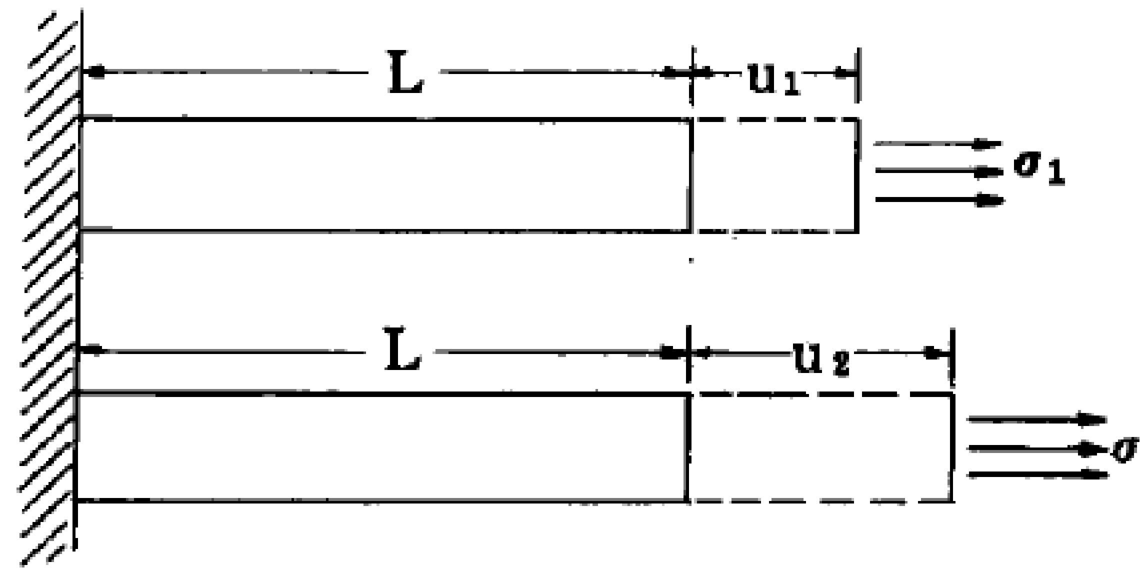


圖 13 — 40　位移的重疊原理

$$u = u_1 + \varepsilon_2 (L + u_1)$$
$$= u_1 + \varepsilon_2 (L + \varepsilon_1 L) = u_1 + \varepsilon_2 L + \varepsilon_1 \varepsilon_2 L$$
$$= u_1 + u_2 = u_2 + u_1$$

式中 ε 爲應變 $= \dfrac{\Delta L}{L}$，由於 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 均甚小，可忽略不計。此最後之等式，即說明了重疊原理。

【微姆】(Micro-mho)

一百萬分之一姆歐。

【微波】(Microwave)

微波通常指的是厘米波或毫米波，表示波長最短的電波。又叫極超短波。微波具有與光相近的性質：直進方向性強及不散開。因此，用像凹面鏡的特別天線（拋物線天線），在一邊收集，或使反射下，可以把電波送到一定的地方。所以在長距離電視廣播時的轉播、雷達等使用。

微波之波長從 0.3 米到 10^{-3} 米，頻率從 10^{9} 赫茲到 3×10^{11} 赫茲，同時用於原子及分子構造之精密分析，亦由電子儀器產生，微波之範

圍用U.H.F.（對無線電頻率而言爲超高頻率）來表示。

【微波光譜學】（Microwave spectroscopy）

研究或分析波長由10厘米到0.5毫米，即頻率由3,000百萬赫/秒到600,000百萬赫/秒的光譜之學問稱爲微波光譜學。這項電磁波是在第二次世界大戰時研究雷達的“副產品”；所以微波光譜學即肇始於此時。微波光譜儀不像普通分光鏡般需要稜鏡或繞射光柵，它所使用的是高度穩定的電子管（*stabilized valve*）、調速電子管（*klystron*）等，以產生單能量（單波長）輻射。最簡單的微波分光儀只含有調速電子管，吸收室以及矽鎢晶體探測器；用以量度試樣對微波吸收時頻率的改變。使用微波分光術的最大優點是對頻率的鑑別率非常高，並能極精確地定出譜線的頻率。在微波範圍內通常使用的分光鏡有兩種，一種稱爲氣體微波分光鏡；另一種稱爲電子順磁共振分光鏡：

1. 氣體微波分光鏡，是普通紅外線分光的延伸。因爲許多氣體的分子，其轉動躍遷所產生的吸收譜線，波長均約在毫米級左右，因此量度這些光譜線的頻率，可以準確定出化學鍵的長度、角度等。其他例如雙極矩、受阻轉動的位壘高度、不同原子的電場梯度等也能定出。至於在低壓時，所得到的複雜但高鑑別率的譜線，更可有助於瞭解一些原子核性質，例如原子核自旋、核四極矩、核磁矩等。

2. 電子順磁共振（*electron paramagnetic resonance*）對具有不成對電子的試樣，常能產生電子共振譜。試樣在強磁場中，其電子即被分離成兩個或多個能階。這些能階間隔，可改變磁場強度而加以調節，當與微波量子能量相等時，即生成共振（例如自由電子在3,200高斯的磁場強度時，微波頻率爲9,000百萬赫/秒）。引起共振的磁場強度，由此試樣品的g值而定；即$h\nu = g\beta H$。由電子共振譜，可以量度並計算原子核自旋、原子核矩、定出分子構造及確定自由基（*free radical*）等。

【微波振盪器】（Microwave oscillator ）

一般電子管的放大器或振盪器，當其作用於100兆赫以上的頻率時，效果就逐漸降低。效率降低的原因，可分爲以下三點：

1. 在高頻率時，一般電子管內部電容及電感的阻抗降低，成爲高頻率電流分路。在某一臨界頻率時，內部阻抗就會產生自諧振。此內阻抗所生的自諧振，與電子管外電路上的諧振電路阻抗無關。同時，電子管只能在此自諧振頻率以下發生作用。

2. 當電子管作用於高頻率（300兆赫～3,000兆赫 ），電子通過極間過渡時間，雖比作用頻率的倒數（週期）小，但兩者相差極微，因此將導至嚴重的射頻功率損失。

3. 作用於高頻率時，電子管內部的結構另件及相關電路的大小長短，幾乎與信號電波的波長(=光速/頻率)相當，因此電子管可產生直接輻射，造成相當大的射頻及功率損失。

特殊電子管，如橡實管、燈塔管等都能有效的作用於300 兆赫～2,000兆赫的超高頻範圍。關於產生2,000兆赫～30,000 兆赫微波頻率所需的技術，與低於此頻率所需的技術不同。爲了達到產生微波頻率的目的，電子管的體積大小及過渡時間，受到很大限制。通常，能產生微波頻率的重要電子管，是調速電子管及磁控電子管。

【微波電子管】（Microwave tube ）

當頻率超過2,000MHz 以上的電波，通常都稱爲微波。一般超高頻率管，作用在微波範圍時，效果都不理想。因微波電子管的動作原理，與超高頻率管或常用電子管不同。現在已經有的微波電子管，爲磁控電子管（*magnetron* ）及調速電子管（*klystron* ）。

【微法】（Microfarad ; μf ）

電容量之輔助單位，相當於基本單位“法拉”的百萬分之一。

【微居里】（Microcurie ）

10^{-6} 居里，為放射性單位。

【微秒】（Microsecond）

為百萬分之一秒或 10^{-6} 秒。

【微音效應】（Microphonics effect）

收音機之微音效應亦稱話筒效應，也稱為顫噪效應，是靈敏度高、裝有較大口徑喇叭的超外差式收音機中常有的不正常現象。主要的情形是在收音機工作的時候，機體受到機械碰撞，或是音量開大一些，聲音振動，使喇叭產生似打鐘的聲音。這種現象一般是在下列的情形中發生。

1. 在調諧到某一電臺時，喇叭中隨著產生嗚嗚的長叫聲（頻率約在 800～1,000 赫）。結果訊號聽不清楚，有時甚至全聽不到。但沒有電臺時，嗚聲也就沒有了。

2. 在調諧到某一電臺時，這種嗚聲時有時無。訊號強的時候有，訊號弱的時候就消失了。

3. 收聽每一電臺都有此現象。或在其中某一波段中，特別是在短波段的頻率較高的一端，最常發生。

微音效應的產生主要原因是由於收音機內，某幾級的電子管受到機械碰撞及振動（包括聲音的振動），而引起了管內電極振動，導致電子管的屏流發生波動，經過以後各級放大，到達揚聲器時，便發出嗡嗡的聲音了。能導致產生微音效應的電極振動，主要是陰極和絲極。電子管內的陰極和絲極，有時構造上拉得不夠緊；特別是直熱式電子管，燈絲很細，不可能拉得很緊，加上熱脹冷縮的影響，就最容易產生微音效應。除此之外，收音機的其他零件結構或安置不當，也有影響。例如強力揚聲器的聲場，也會引起可變電容器極片的振動，而導致發生微音效應。因此在處理收音機的微音效應時，除了由於電子管構造上的嚴重缺點必須更換新管外，還須從機內零件的安排和佈置上設法避免和解決。

【微音器】(Microphone)

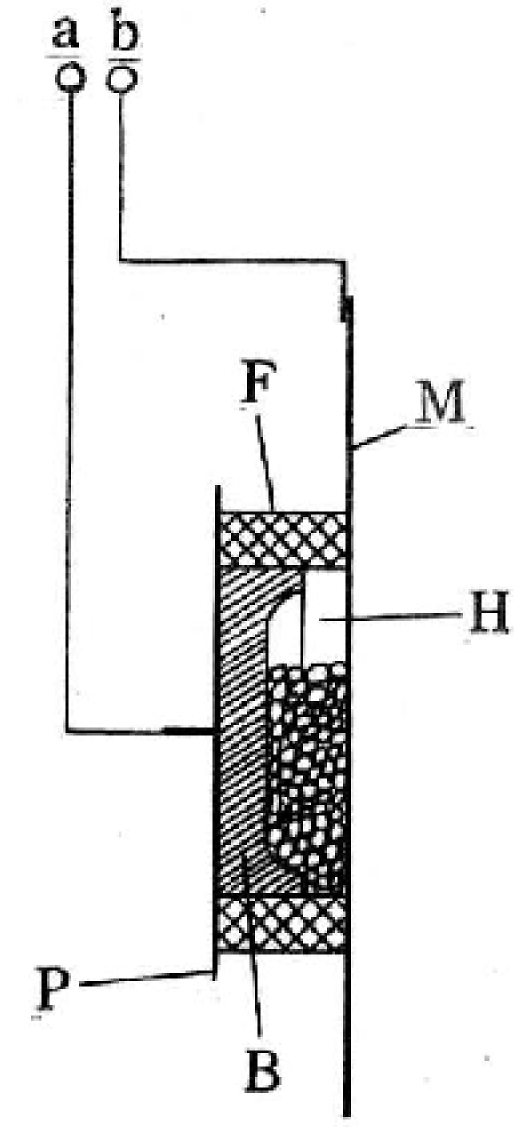


圖 13 — 41 微音器

微音器又稱爲傳聲器，俗稱麥克風，是將聲音變成電能的主要器械，通常是利用一片靈敏的膜片接受空氣中傳來的音波。由音波的壓力使膜片振動，影響機械構造，使微音器中電路的電流發生極微的變化，而達成聲能變成電能的目的。

如圖 13 — 41所示。P爲一金屬薄片，其上裝一碳盤B，盤之周匝圍一氈環F，環上則有一碳膜M。M和B間的空隙H裝滿碳粒，但裝的並不很緊。a，b爲接線柱。

將碳盤B與碳膜M經由導線與電源相連，即有電流從碳粒層通過。此時如向碳膜發話，M即隨聲波之衝擊而振動，致使碳粒間之接觸時鬆時緊（視M之振動情形而定）。但碳粒之鬆緊能使全路電阻或高或低（此項電阻值之變化範圍通常約在20歐姆～100 歐姆之間），故通過微音器之電流亦隨之而生相應之變化。換句話說，微音器已將發話者送出的聲波"譯"成電流強度的升降了。

依其構造分類，有(1)電容式微音器（*condenser microphone*）(2)碳粒式微音器（*carbon microphone*）(3)晶體微音器（*crystal microphone*）(4)帶式微音器（*ribbon microphone*）及(5)電動力微音器。

【微音器前級放大器】(Microphone pre-amplifier)

將微音器產生的音頻電壓，進行預先放大的低頻放大器。

【微音器聲】(Microphonics)

電子管接受了揚聲器的聲音振動的聲壓力，使管內電極距離略起振動或變化，令電極間的電場生變動，最後聲振動會改爲電流波動，在揚聲器再度輸出時發生叫聲，即顫噪聲。

【微音器變壓器】(Microphone transformer)

變壓係數很高（1：10～1：15）的低頻變壓器。接在微音器與微音器放大器的輸入端之間，用來升高微音器所送出的音頻電壓，準備激勵放大管工作。

【微星說】（Planetesimal hypothesis）

對於地球之形成有一學說認爲太陽本來比現在要大得多。另外一個大星體運行時，靠近了它或以巨大的力量撞擊了它，在這種情況下，大量的蒸氣物質被吸引離開太陽，形成許多螺旋狀長臂，伸入太空極遠的地方。如果這些臂狀體脫離太陽，繼續旋轉而成了行星。再由這些行星，以相同的方式形成了衞星。重力開始在行星上發生作用，當靠它們冷卻時，便不斷收縮，同時吸引附近太空中的微星體，這些行星就是這樣形成而有了現在的體積和形狀。這個說明地球和其他星體成因的學說，就是微星說。亦稱旋渦星雲假說。

【微細電子學】（Microelectronics）

所謂微細電子或微細電路，是一種電路使電子裝置更小更輕，這是導源於火箭及太空研究工具的空間太小及太重，希望減輕各種另件的體積及重量而得。人類進入太空的擧動不僅有利於電子設備及重量減小，並且隨同減小了功率的需要，以及設備的可靠程度（可靠程度是使電子設備微細化的主要原因）。今日的電子系統已經變得極度複雜，通常都包含有成千成萬的各種電路在內，因此損壞的機會及不可靠程度都非常大。如果將系統中的配件及接線減至最小，而利用高度可靠性的成分；微細電路以及微細電子另件所構成，使整個系統將可達相當的可靠性。

微細電子電路就是微細電路，其本質並未因名稱的不同而改變，現在微細電路已經成爲軍用通訊系統的骨幹。可從史坦福研究所（*Stanfordx Researchxin-stitute*）的研究知道電子計算機的數千億有源配件（*active component*）可裝於100 個一平方吋的架上，總共所佔的體積也不過數立方吋而已，由此可得一微細電路概念，及其將來的動

向。如此高的安裝密度，可藉電子束技術，將此百萬個之一吋大小的各個另件連接在一起。構成微細電子學的一般方法可分爲以下幾類：

1. 配件排列法（*component-oriented approaches*）——此法主要將常用的各個電子另件、硬體（*hardware*）、電晶體化的印刷電路等緊密安裝在一起。爲了達到高安裝密度，常用另件形式有薄餅式、卡片式、立方體式、熔接模式及高密度單元等。

2. 電路排列（平面）法（*circuit-oriented approaches*）——此法是將所有的電子電路，如電阻及電容等，都完全使之附著於一稱爲墊料的底板材料。電子另件都以薄膜的形式附著於墊料，使電路成爲二度空間電路而裝置單模成爲三度空間。

3. 機能排列——此乃最新的方法，是將已知的分子電子電路、積體微細電路以及電子機能單元等，全部的機能結合於一個固態墊料上。常用的電子另件，如電阻、電容、二極體及電晶體等，皆可由單一晶體的積體微細電路所代替。特殊用途的放大器快速開關電路（*flip-flops circuit*），及各種高速率的電子計算機邏輯電路另件，都可以形成一個機能電子單元。

【微量天平】（Micro-balance）

一般使用的天平，不能測出公絲以下的微小質量。使用檯秤時，指針常在0點左右很小的範圍內搖擺不定，這個偏差通常是不顯著的。如果要測出微小的質量時，這個偏差就很重要了，所以就需將它放大來觀測。微量天平就是將微小的重量差放大成顯著的偏移來測量的。等臂天平的支點是在秤梁的中心，當兩端質量不等時，秤梁不能保持水平，指針不指在0點，若指針裝在秤梁的端點，它就會上下偏移。爲了使這個偏移的距離更顯著些，可以移動天平支點的位置。如果載物秤盤至支點的距離，遠大於另一端的距離，再加上天平梁臂本身就很輕，那麼一個微小的微量差，就可以使天平的載物端產生很顯著的偏移而可以計算出來。

【微微】(Micromicro ; Pico)

微是單位上的一個字頭，代表 10^{-6} ，代號爲 μ 微微（ $\mu\mu$ ）就等於 $10^{-6}\times10^{-6}=10^{-12}$ 。

【微微法】(Micromicrofarad ; Picofarad)

百萬又百萬分之一法拉。

【微微爾格】(Micromicro-erg)

百萬又百萬分之一爾格，即 10^{-12} 爾格。

【微隕石】(Micrometeorite)

很小的流星或流星粒子。

【微爾格】(Microerg)

即爾格的百萬分之一。

【微歐】(Microhm ; Micro-ohm)

電阻單位，爲歐姆（ *ohm* ）的百萬分之一。

【微擾法】(Perturbation method)

詳閱“微擾能量（ *Perturbed energy* ）”條。

【微擾能量】(Perturbed energy)

在量子力學中，由於交互作用本身的微弱，使得弱交互作用的效應可被處理成一種微小的修正項，這就是微擾法（ *perturbation method* ）的主要精神。利用這種方法，可以計算出許多衰變過程的結果，而且和實驗非常吻合。用一時間的微分算符表示能量

$$E\rightarrow i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$$

且適合對易算符

$$[E, t]=i\hbar$$

由於此式的關係，所以能量與時間之間有海森堡（ *Heisenberg* ）測不準的關係

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq \frac{\hbar}{2}$$

即是在有限長久的時間之內不可能量得精確的總能量。

薛丁格（*Schrödinger*）波動方程式將時間變數分離之後可以寫成

$$HU_n(r) = E_nU_n(r) \qquad (n = 1, 2, 3, \cdots)$$

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V(r)$$

由位能的形式，以及E及$V(r)$的大小變化，總能量E的本徵值有連續與不連續的情形，不連續能階之值可由邊界條件求得。

通常若H_0爲一簡單而可算得的能量算符

$$H_0U_k = E_kU_k \qquad (k = 1, 2, 3, \cdots)$$

則當此系統加上微擾H'時

$$H = H_0 + H' \qquad (H' \ll H_0)$$

則原有的能階亦會隨之發生些微變化，其本徵值爲W

$$H\psi = W\psi$$

可用微擾法求其近似解，則此時的能量W稱爲能量E_k被微擾後的能量

$$W = E_k + W_1 + W_2 + \cdots$$

此近似解要能收斂，必須微擾H'比H_0很小時才能成立。

【微觀的】（Microscopic）

對一觀察物做量的量度時，以原子尺度的大小或比原子更小的因次爲衡量的標準時，稱之爲微觀的。此種小幅度的觀點，配合量子力學定律，對系統內所有的粒子加以最詳盡的描述，由此而決定系統的物態，是爲微觀物態（*microstate*）。

【微觀物態】（Microstate）

一系統的物態以小幅度的觀點配合量子力學定律對其所構成之分子或原子的能態描述者，稱爲此系統的微觀物態。例如理想氣體的微觀物

態爲各分子在各種不同之動量及位置的狀態。

【微觀場】(Microscopic field)

物質是由原子所構成，而實際上每個電子或原子核都具有磁矩，因此它們應當在其周圍的空間內產生一磁場，故物質內部眞正的磁場，便是這些個別的磁矩所總合而成，稱爲微觀場。這種磁場極其複雜，隨觀察者距離電子或原子核的遠近而有很大的變化。

【微觀構造】(Microstructure)

由於原子的體積太小，即使是在一立方厘米內，也有 10^{19}個以上的分子，所以我們平常所觀測到的各種物質的性質，都是難以數計的分子所構成之整個系統的總效應，也就是巨觀量。若進而分析個別的原子或分子受力的情形，研究它們之間的排列及其結合力，這便是到“微觀”的觀點了，分子或原子在微觀觀點下所呈現出來的構造便是微觀構造。

【微觀碰撞截面】(Microscopic collision cross section)

分子之自由路程 l（如圖13—42）與分子之大小具有關係。設 n 爲單位體積內之分子數，r 爲分子之半徑。使二分子碰撞，二分子之中心距離在相對運動方向之垂直面上投影，必較 $2r$ 爲小（圖13—43）。若設分子1向右移動，並設想環繞此分子一有效區域是一半徑爲 $2r$ 的圓柱，

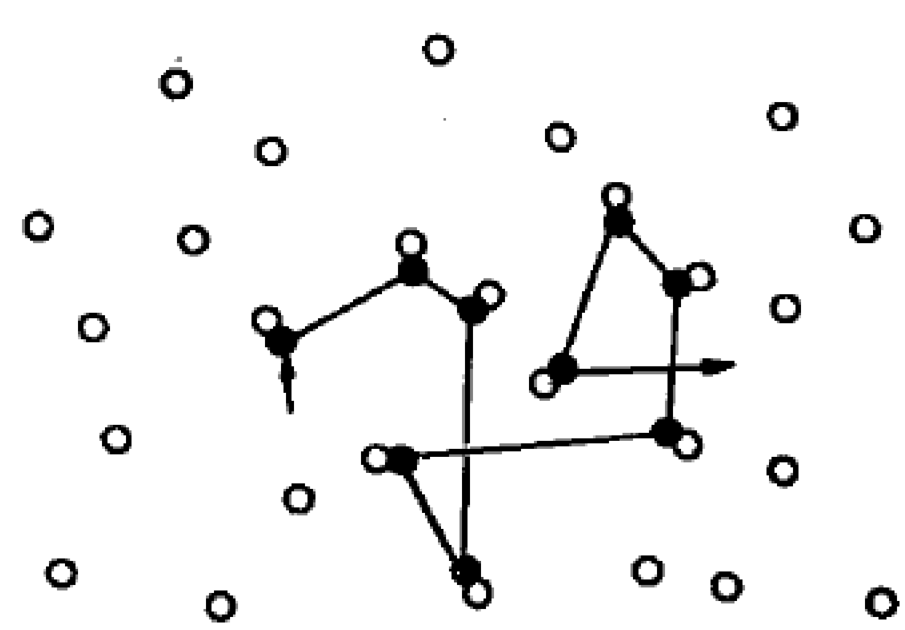
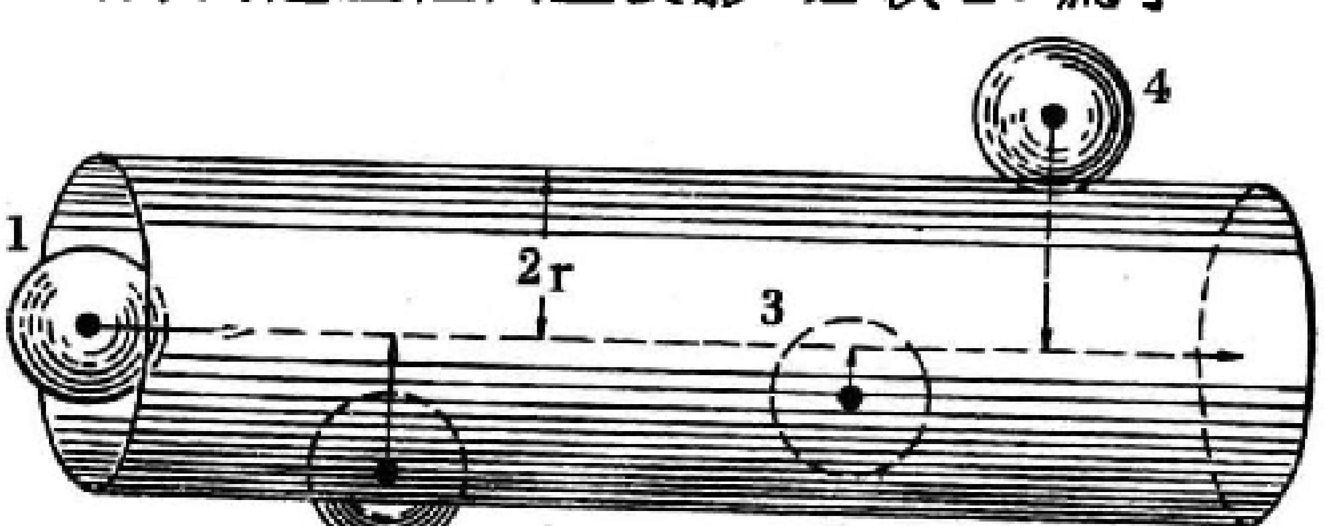
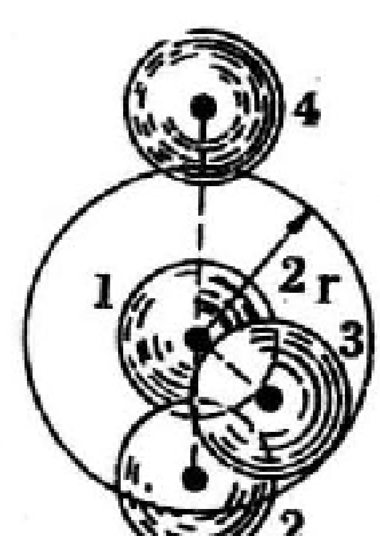


圖 13 — 42　分子自由路程



(a)側面圖



(b)正面圖

圖13 — 43
由分子所掃出的碰撞柱，其中心位於此柱中之他分子會遭遇分子1之碰撞

他分子之中心位於此區域，則與之碰撞。若中心間之間隔小於 $2r$ ，如分子 2 與分子 3 ，碰撞就會發生。反之若間隔大於 $2r$ ，如分子 4 ，則無碰撞。

今設想一面積為 S ，厚為 dx 的一薄板（圖 13 — 44 ），位於此板中之氣體分子數為 $nSdx$ 。每一分子遮蔽出半徑為 $2r$ 的一面積，此遮蔽面阻止分子 M 自由通行。此面積為

$$\sigma = \pi (2r)^2 = 4\pi r^2 \qquad (1)$$

常被稱為微觀碰撞截面。薄板中全體分子遮蔽的總面積（假定板內分子無重疊情況，分子濃度不太大，並且 dx 很小時，此假定正確）為 $n(Sdx)\sigma$ 。因分子 M 欲通過此薄板， 而遭受碰撞之或然率勢必為

$$\frac{n(dx)\sigma}{S} = n\sigma dx$$

每單位長度內，分子 M 所遭致的碰撞次數則為 $n\sigma$ 。 此即巨觀碰撞截面，由是得

$$\Sigma = n\sigma \qquad (2)$$

分子碰撞平均自由路程

$$l = \frac{1}{\Sigma} = \frac{1}{n\sigma} \qquad (3)$$

由此即可利用 l 而估計分子之大小。

當計入分子力時，即使它們之間隔大於它們的直徑，分子被散射或“碰撞”之結果，亦會改變它們的運動方向，對於一般情況，σ 依然經由（ 2 ）及（ 3 ）式與 Σ 、l 關聯著。實際上這些方程式就是它們的定義，但（ 1 ）式不再適用。

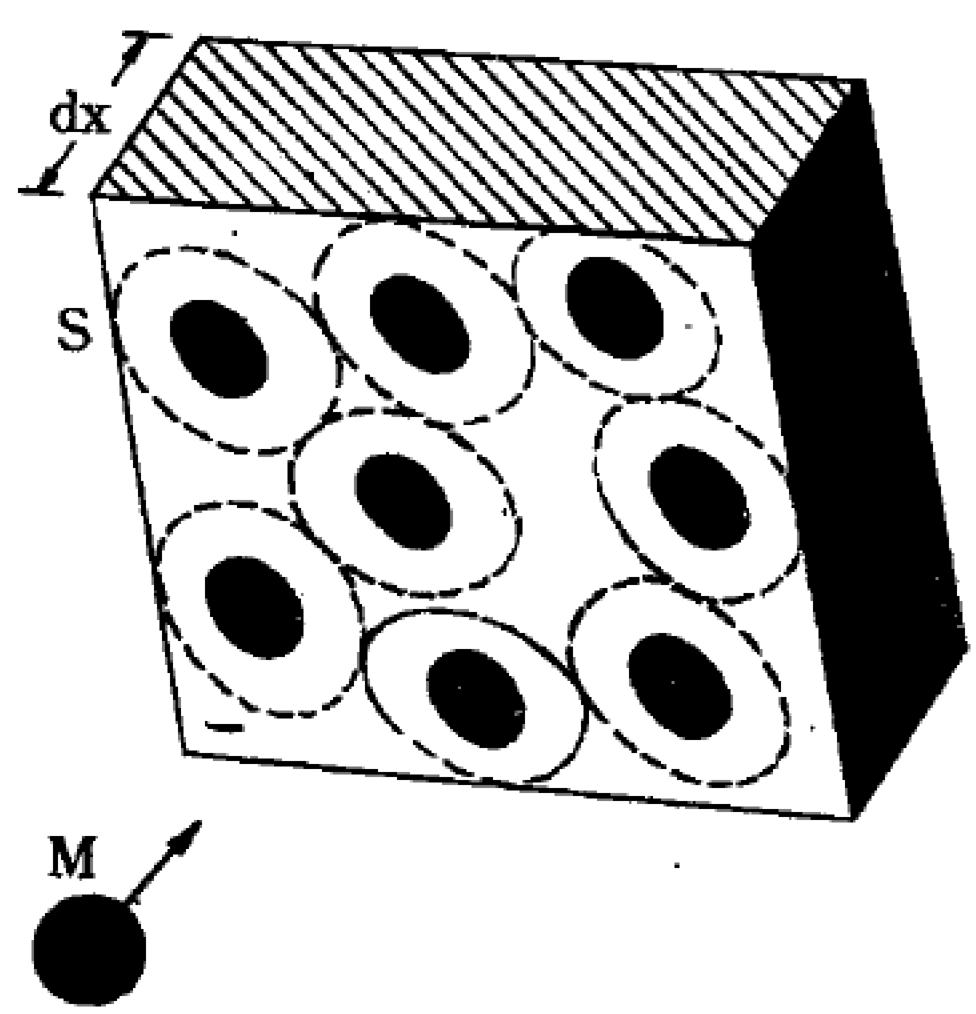


圖 13 — 44
在板中之分子，映出一半徑為 2r 的圓面

若僅考慮圖13—44中薄板內分子爲固定者，（3）式正確無誤。然而，若薄板中分子爲運動者，~~如在氣體中，~~碰撞或然率可能較大，以致平均自由路程會減小。

【微觀觀點】（Microscopic conception）

十九世紀，原子、分子的存在已經被肯定。當時的科學家們便想到一個問題：既然物系本身是許多原子、分子的集合體，那麼，它的性質應當由組成的個體，原子或分子來決定才是。如果我們知道一個分子的運動定律和分子與分子間的交互作用的話，那麼，物系的性質當然可以被推導出來。微觀觀點便是建立在這種基礎上，從物系的組成粒子的性質推導出物系本身的性質。但是，一個常觀物系所含的質點太多，即使運動定律及交互作用都知道了，還是無法描述分子個別的狀態；因爲不僅數學上有困難，而且實驗上也無法測量得所有分子和原子的起始狀態（*initial state*）。不過，微觀的描述法並不是要去知道那些沒有運動意義的物理量，或者個別粒子的狀態；而是要求其具體表現的結果，或者某些物理量整體的平均值。因此，它以一些統計上求平均值時所需的分佈或然率的假設，來取代那些不可知的條件。而這些統計假設的價值及其選擇，取決於它們所推導出來的結論是不是和實驗的結果相符合。統計力學（*Statistical mechanics*）、氣體運動論（*kinetic theory of gases*）都是屬於微觀的描述法的範疇。

由微觀觀點而來的描述，常會有下列特徵：

1. 常須對物質結構做一些假設。
2. 必須詳述許多量。
3. 所說明的量，非感官所能覺察或聯想得到。
4. 這些量無法測定。

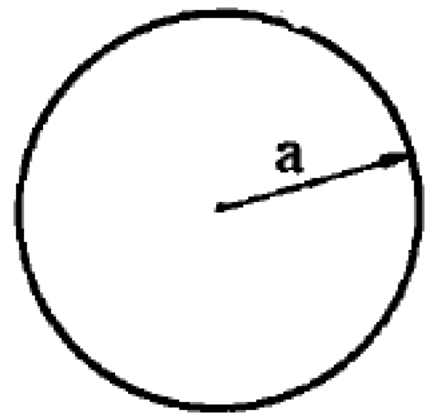
【感生電偶極矩】（Induced dipole moment）

利用原子模型可以估計正負電荷中心由於極化而發生的相互位移的

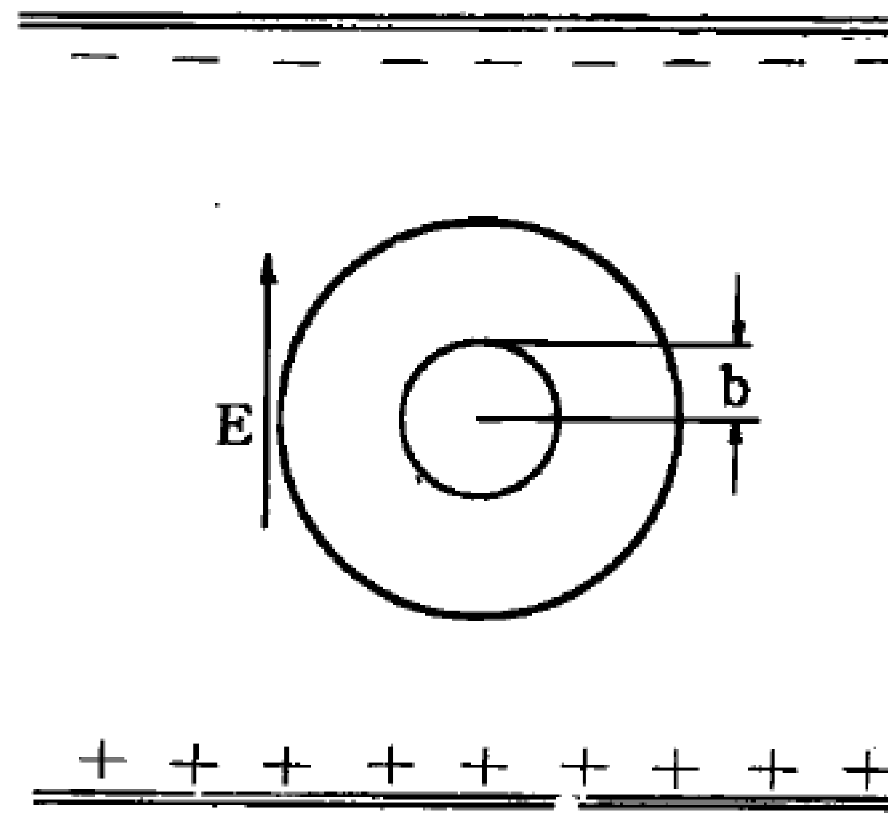
大小。假設在沒有電場時，負電荷 e 很均勻地分佈在一半徑爲 a 的球體內。加了電場後，負電荷分佈的密度與形狀不變，但相對於原子核 $+e$ 作了稍許的位移 b，如圖 13—45。在平衡狀態下，外電場 E 作用在原子核上的力 eE（向上）必須和負電荷分佈作用在原子核上的力（向下）互相抵銷。在均勻球狀電荷分佈中，離中心 b 處一點的電場強度爲 $\frac{e}{a^3}b$。在平衡時

$$\frac{e}{a^3}b = E$$

根據原子模型，大部分電荷都分佈在半徑爲 $10^{-8}cm$ 的球體內，假若外電場的強度爲 100靜電伏特/厘米（30,000 伏特/厘米），則 b 約爲 2×10^{-18} cm。這個位移非常非常的小。這樣所形成的電偶極矩是 eb，因此在這種原子模型下，電偶極矩與外電場的關係是



(a)氫原子簡單模型



(b)在外電場內平衡時，負電荷中心與原子核的距離爲 b

圖 13 — 45

$$p = eb = a^3E$$

可見電偶極矩是與電場成正比。對眞正的原子而言，至少在 E 很小的時候，這種簡單的比例關係也是存在的。也就是說，在不是極端強的電場干擾下，任何原子都是根據這個法則極化。這個電偶極矩就是感生電偶極矩。在各種情況下，$\vec{p}$ 與 $\vec{E}$ 都是成正比的，即

$$\vec{p} = \alpha\vec{E}$$

α 是原子的特性，叫作原子極化率（*atomic polarizability*）。

【感光板】（Mosaic）

在電視攝像管中，一個感光敏度大，用作拾像的檔屏。

【感色靈敏度】（Color sensitivity）

指一般光電發射體對各種光線響應的程度。

【感抗】(Inductive reactance)

表示包含電感的電路對交流電流所起的阻礙作用。它在數值上等於“電感”與交流電流“頻率”相乘積的 2π 倍，單位是“歐姆”。交流電的頻率愈高，或電感愈大，則電路的感抗也愈大。

如圖 13 — 46 在一電路內只有一個感應線圈沒有其他元件，現在若要維持一個交變電流 $i(t) = I_m \sin\omega t$ 通過該線圈，f 爲頻率（週/秒）

$$\omega = 2\pi f \text{ (弧度/秒)}$$

e 爲任一瞬間外供電壓之值

則

$$e = L\frac{di}{dt}$$

$$= L\frac{d}{dt}(I_m \sin\omega t)$$

$$= L\frac{d}{dt}(I_m \sin 2\pi f t)$$

$$= 2\pi f L I_m \cos 2\pi f t$$

$$= 2\pi f L I_m \cos\omega t$$

$$= 2\pi f L I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

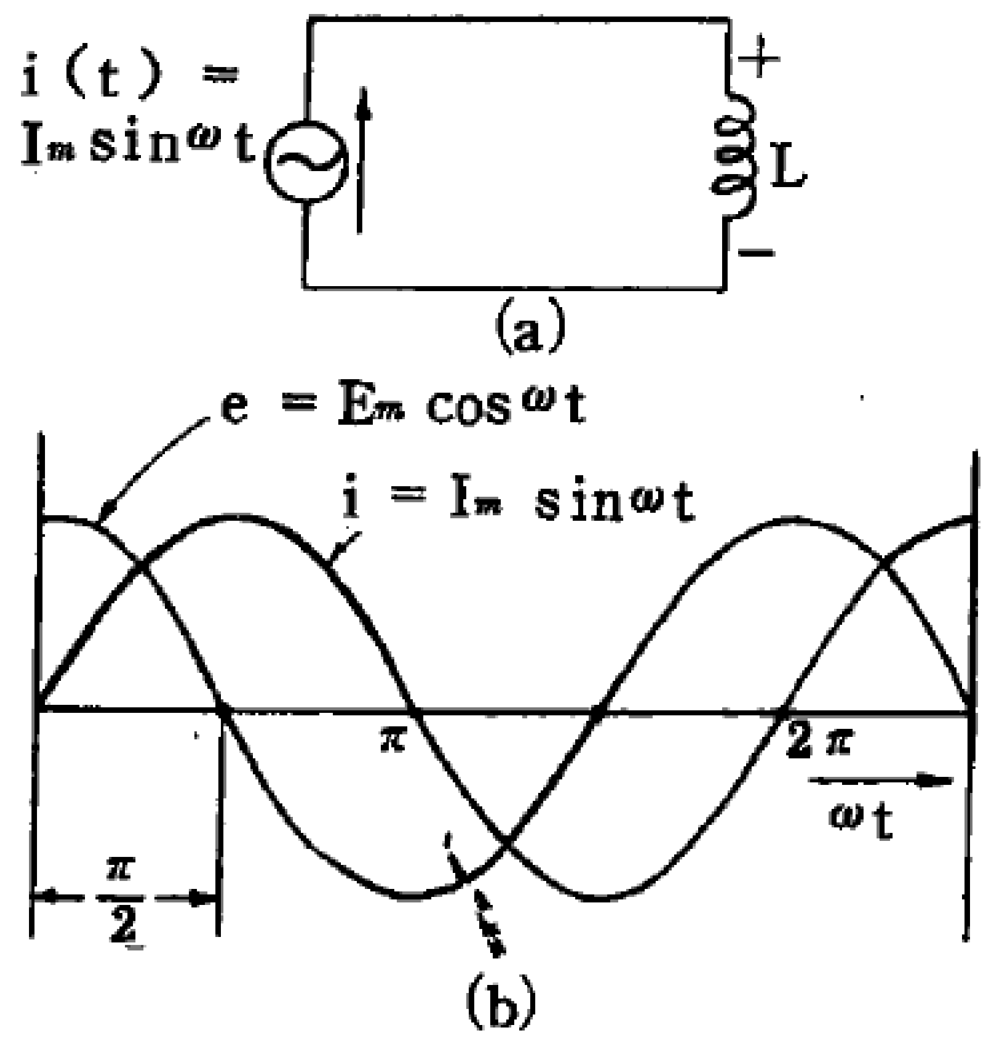


圖 13 — 46

此式表示電壓是一條正弦曲線，比電流超前 90°，正弦極大值是 1，故最高電壓

$$E_{max} = 2\pi f L I_m$$

兩邊同除以 $\sqrt{2}$，則因 $\frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = E$，$\frac{I_m}{\sqrt{2}} = I$，式中

E、I 爲電壓及電流的有效值，故

$$E = (2\pi f L) I$$

因子 $2\pi f L$ 在交流電路中常出現，故有一專有名稱及特別記號，稱作

電路的電感性電抗或感抗，以X表之

即 $E = IX \qquad X = 2\pi fL$

【感電流】(Induced current)

原線圈內原有的電流。

【感應】(Induction)

由磁場或電場之變化而受影響之結果，如感應後所產生之電流或電壓。感應有磁感應及電感應二種：

1. 磁感應（*magnetic induction*）——以軟鐵片置於強磁鐵之磁場內，則得磁性；其近磁鐵之端，生與磁鐵異名之極，他端生同名之極，如以軟鐵棒AB置於強磁場內，令其一端A近磁鐵之指南極，則由感應作用，其A端成指北極，而他端B成指南極，此種現象謂之磁感應。

2. 電感應（*electric induction*）——置導電體於電場內，則其近帶電體之部分生異類電，遠帶電體之部分生同類電，此種現象謂之電感應。

【感應反饋】(Inductive feedback)

如在電子管電路中反饋能力由屏極而至柵極，經感應作用而完成者。

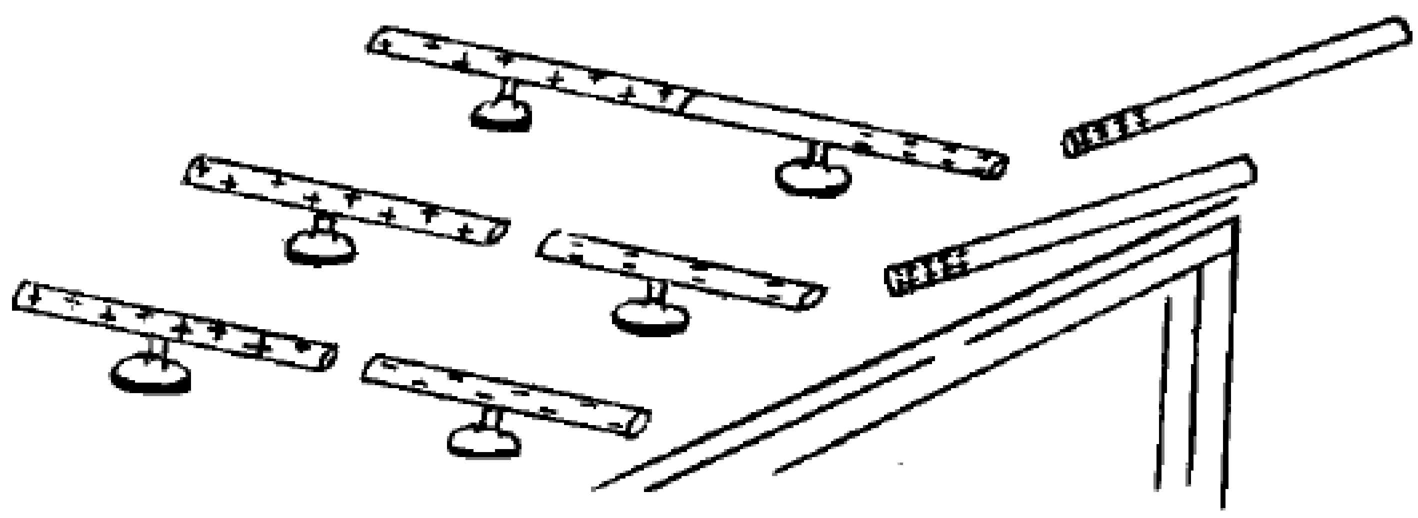
【感應起電】(Electrification by induction)

絕緣導體中的電子受另一帶電體電力的引誘而移徙佈置的現象。絕緣導體內自由電子受帶電體所帶某種電荷的影響，即在其相近的一端，集結或疏散；其另一端因之形成與帶電體電子盈虧狀況相同的情形，致不帶電的絕緣導體，由之起電。

若有其與帶電體鄰近之一端生異名電；較遠之另端生同名電。由感應而生之兩種電荷，其量相等，而符號相反，此時之導體名為“電偶”。若不加適當措施，則帶電體移去時，此兩種電荷即因中和而隨之消失。

因感應而生的電量與帶電體的距離有關。故較近時，所生電量較多。

二導體同時感應，可使二導體各帶一種電荷。



1. 以同質且相接觸之二導體，置於上下四周皆絕緣之環境中。

圖 13 — 47

2. 以一帶電體移近此二絕緣導體，使三者同在一條直線上。

3. 以絕緣物質將二導體分離，同時將帶電體移去。

如此，二導體即各帶一種電荷（原與帶電體相近者帶異名電，較遠者帶同名電，如圖 13 — 47 所示）。

若導體接地則可使導體帶一種電荷。

1. 取驗電瓶或起電盤。

2. 以帶電體置於其旁，使由感應生二種電荷於二端。

3. 使驗電瓶或起電瓶上方之金屬面接地（以導線連結或以手觸之）。則此面之電荷卽消失，而另面尙感應產生異名之電。

4. 撤去接地線，移開帶電體，驗電器內或起電盤上卽留有一種異於原帶電體所帶之電荷。

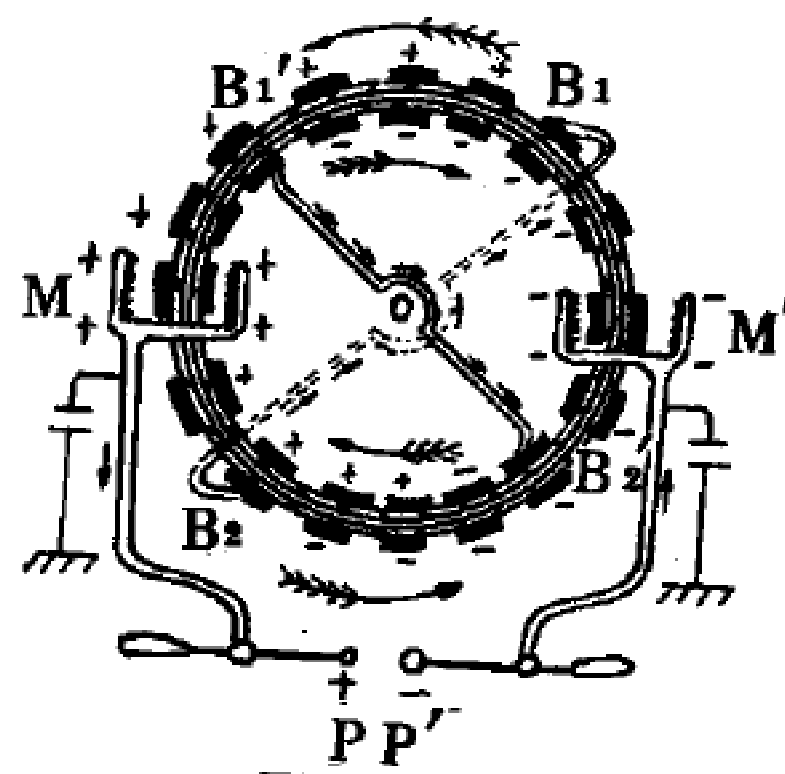


圖 13 — 48

裝置起電機（*electric machine*），可生大量電荷於二極。而起電機爲一連續作用的起電盤。如圖 13 — 48中二圓表其上貼有等距錫箔，周緣相等，一前（小者）一後（大者）置於同一水平軸上而轉向相反的兩大絕緣板。B'_1、B'_2、B_1、B_2 表分別與前後圓板上錫箔接觸的金屬刷；M、M'表金屬梳；P、P' 表二極。二板開始轉動時，錫箔常略帶電荷（由空中少量電荷感來

）。若後箔帶負電，則前箔及B_2'感應帶正電；B_1'帶負電。故前板依內箭頭順時鐘方向轉動時，凡經B_1'、B_2'刷的錫箔均各帶“＋”與“－”電；至M、M' 二梳時，其電荷卽順之達於二極而原箔上卽無電荷；迨改與B_2'、B_1'二刷接觸後又帶另一種電荷，如是持續在M' 梳卽恆生負電；M梳則恆為正電。後板錫箔由於感應卽各帶與前板箔上相反之電，因運轉方向相反，故傳於二梳之電荷仍與前同。迨二極集電甚多時，卽發生火花放電。

【感應起電機】（ Influence machine ）

為由電感應作用使發生多量電之器械，如圖 13－49。主要有兩片在一軸上對立，並可沿相反的方向轉動的塑膠圓板。圓板上貼有錫箔片，是用來感應電荷的。機上裝有金屬刷和金屬梳，是用來傳導感應電荷的。使用時先在一錫箔上加少許正電或負電，轉動圓板。在轉動瞬間互相對立的錫箔，會互相感應，所生正負兩種電就分別由金屬梳傳至正負兩極。改變兩極間的距離，就可看見火花放電的現象。

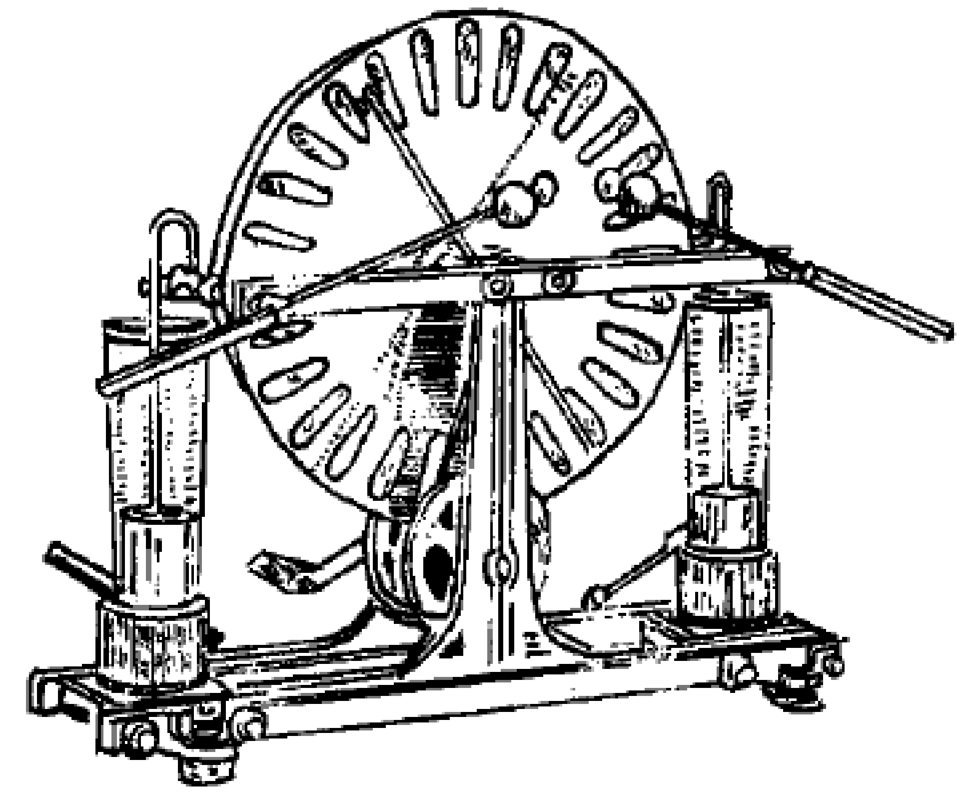


圖 13 — 49　感應起電機

【感應圈】（ Induction coil ）

利用兩線圈間的互感應，以產生高電動勢的裝置。其構造 如圖 13—50 所示。

A：由一束互相絕緣的鐵線相合製成的鐵芯（此種鐵芯可免渦流）。

PP'：由數百匝絕緣粗銅線繞成的原線圈。

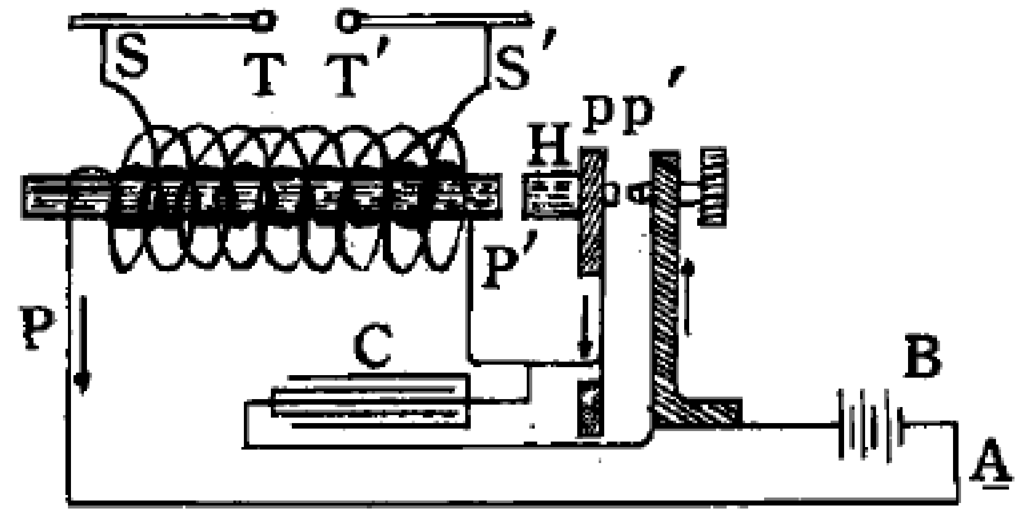


圖 13 — 50

SS′：由數十萬匝絕緣細銅線繞成的副線圈。

B：電池組。

C：電容器（與原線圈並聯）。

H：銜鐵、彈簧片。

感應線圈之作用在：

1.電池組、銜鐵、鐵芯，原線圈爲一繼電器。

2.匝數甚多的副線圈受原線圈斷續電流的互感作用即產生甚高的應電動勢。

3.由電池*B*發出的電流通過鐵芯時，鐵芯即成爲電磁鐵，*H*片被吸，*pp′*即成斷路，於是原線圈之電流斷絕，電流一斷，*H*由於彈簧的壓力又回到接觸位置，電流復通，於是電流斷斷續續，使磁場生迅速的變化，副線圈即生感應電流，而達高電壓。見圖13—51。因自感應而生的甚高電動勢，使彈簧片與螺旋之斷裂處發生火花，可減低副線圈中之應電動勢並使接觸部分損壞，故另以一電容器*C*並聯於彈簧片與螺釘之間。使原線圈因自感而生之暫時電流，立即灌存於電容器中，而不致衝過接觸部分。因而可使電流迅即斷絕，使副線圈中之應電動勢在原線圈電路斷開時，遠較接通時爲大。故如兩放電棒之距離稍遠，其兩端間之火花放電，具有單向性。

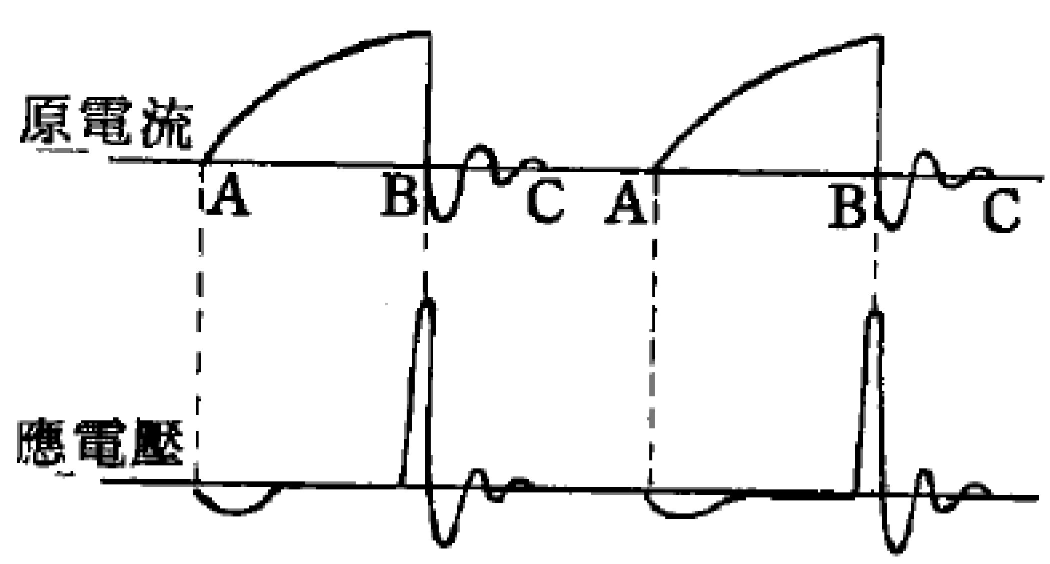


圖 13 — 51

一般皆應用於(1)內燃機火花塞之點火如感應圈火花放電的應用。(2)使*X*射線管發生*X*射線如高電壓之應用。(3)用於無線電發送機及其他需要高電壓之處。

【感應場】（Induction field）

電磁場之一部分。

【感應量】(Inductance)

不論導線或線圈，當有變化的電流通過時，必生自感作用，自感的結果就是反對電流變化，此種慣性的強弱就稱自感量。普通以 L 表之，其單位爲亨利。

【感應損失】(Inductive loss)

接近射頻輸送線之物質，均能感應電力，使輸送線一部分電力被吸收。

【感應電流】(Induced current)

未接電流的閉合導線，受外加變化磁場影響而產生的電流稱爲感應電流。

一般產生感應電流的方法有下列三種：

1. 移動鄰近導線的磁鐵。
2. 變化鄰近導線的電路中的電流。
3. 移動鄰近導線且通有電流的電路。

根據楞次定律，感應電流的方向爲反對產生磁通量變化的方向，以公式表之爲 $\varepsilon = -\dfrac{d\Phi_B}{dt}$ ，負號表示感應電動勢之方向與磁通量變化率相反。

【感應電流之電動勢】(Electromotive force of induced current)

線圈內磁場之變化愈激烈，則其內感應電流之電動勢愈大，又感應電流之電動勢，與線圈之截面積與捲數成正比例，故欲得極強大之電動勢時，使原線圈之電流強度急速變化，並使其截面積加大，副線圈之捲數增多卽可。

【感應電荷】(Induced charge)

由於帶電體的接近而使集聚於導體不同部分的局部過量正、負電荷

稱為感應電荷。

【感應電動勢】(Induced electromotive force)

因磁通量 (*magnetic flux*) Φ_B 改變而產生的電動勢，稱爲感應電動勢。其大小與磁通量之變化量成正比例。如圖 13 — 52，設某人施力 $\vec{F_a}$，使導線以速度 $\vec{v}$ 向右作等速直線運動，因有感應電流 I 產生，則導線上所受的磁力 $\vec{F_m} = I\,l\vec{B}$。導線作等速運動

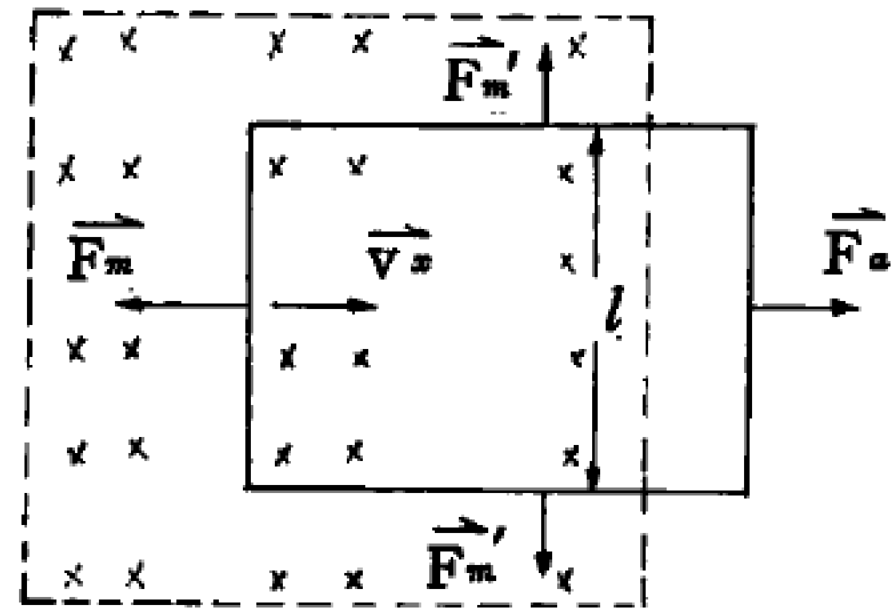


圖 13 — 52

$$\therefore\ \vec{F_a} = -\vec{F_m}$$

施力 $\vec{F_a}$ 在 Δt 時間內所作的功

$$W = P\Delta t = (F_a v)\Delta t$$
$$= (-F_m v)\Delta t = -IlBv\Delta t$$

在 Δt 時間內，通過此電路任一點的電荷爲 $I\Delta t$，推動此電荷所需的能量爲

$$(qV) = \varepsilon I\Delta t$$

依照能量不滅定律及 Δt 時間內長 l 的導線所掃過的面積爲 $lv\Delta t$

$$W = -IlBv\Delta t = \varepsilon I\Delta t$$

$$\varepsilon = -\frac{B(lv\Delta t)}{\Delta t} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

感應電動勢的方向，恆使廻線產生一感應電流，此感應電流產生一感應磁通量，以阻止磁通量的變化，此項關係稱爲楞次定律 (*Lenz's law*)。$\varepsilon = -\dfrac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ 中的負號即表示感應電動勢所產生感應磁通量之方向，係反抗原有磁通量變化之方向。

【感應電動機】(Induction motor)

即轉子 (*rotor*) 於轉動磁場 (*rotating magnetic field*)中，

因渦電流（*eddy current*）的作用，使轉子轉動的裝置。轉子即可轉動的導體，通常多呈鼠籠（*squirrel cage*）狀（如圖13—53），即將若干銅棒嵌於疊片鐵芯周圍之槽內，再將其兩端焊於兩銅環（或板）上而成。轉動磁場並非以機械方法爲之。乃是以交流電通於數對電磁鐵中，使其磁極性質循環改變，可視同轉動的磁場。

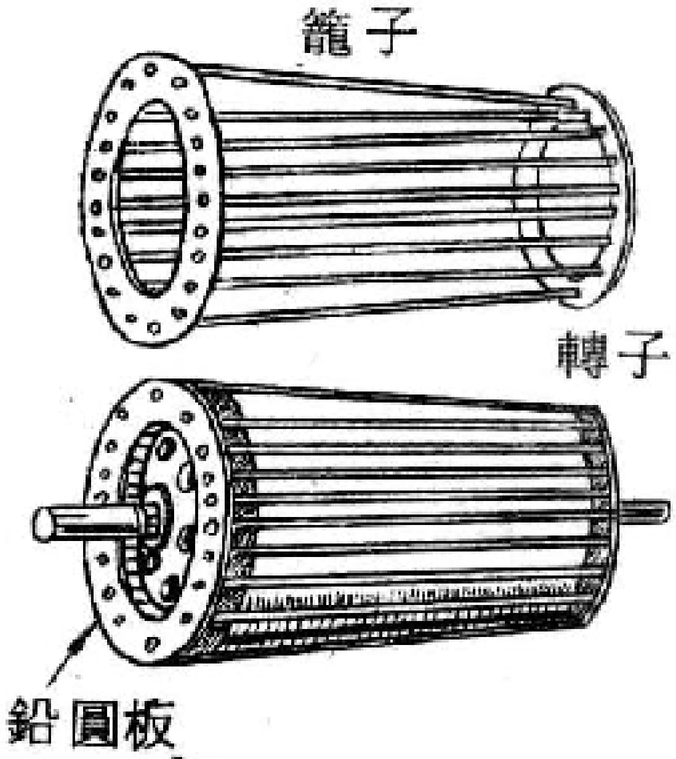


圖 13 — 53

這種電動機並沒有像直流電動機（*direct current motor*）之有電刷或集電環（*collecting ring*），依所用交流的種類有單相電動機和三相電動機。單相電動機用在如洗衣機、電風扇等；三相電動機則作爲工廠的動力設備。

【感應電場】（Induced electric field）

如圖13—54所示，當圓軸上有$\Delta\vec{\Phi}$時，必有ε產生，而使導線上有感應電流I，又知$\vec{\varepsilon}=\vec{E}l$，故

$$\vec{\varepsilon}=\vec{E}l=\vec{E}\times 2\pi r=-\frac{\Delta\vec{\Phi}_B}{\Delta t}$$

$$\vec{E}=-\frac{1}{2\pi r}\frac{\Delta\vec{\Phi}_B}{\Delta t}$$

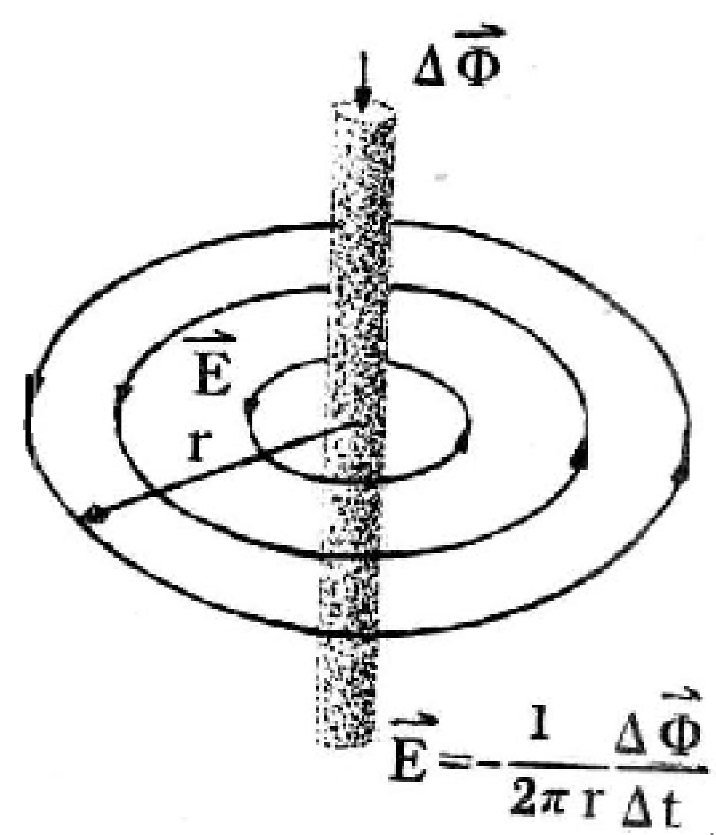


圖 13 — 54

式中負號即表示感應電場的方向，係反抗原有磁通量變化之方向。故知凡有磁通量變化即可產生感應電場，不論空間有無導線，感應場事實上存在。

【感應電路】（Induced circuit）

具有強大感抗的電路。

【感應電壓】（Induced voltage）

感應電壓之產生是由於變化磁場之力線割切導體所得者，電壓的大小決定於以下幾個條件：

1. 每秒鐘穿過線圈的力線變動愈快，則感應電壓愈大。

2. 被導線切割的力線數目愈多，感應電壓愈大。

3. 線圈的轉數愈多，感生電壓亦愈大。

【感應磁場】(Induced magnetic field)

圖 13 — 55(*a*)示滿佈於圓柱空間區域中的均勻電場$\vec{E}$，如圖13 — 55(*b*) 所示，圓形平行板電容器可產生此電場。設E以dE/dt之穩定率增加，意即應以穩定率將電荷供予電容器板；欲供入此電荷需有穩定電流 i 流入正板，及相等之穩定電流 i 自負板流出。

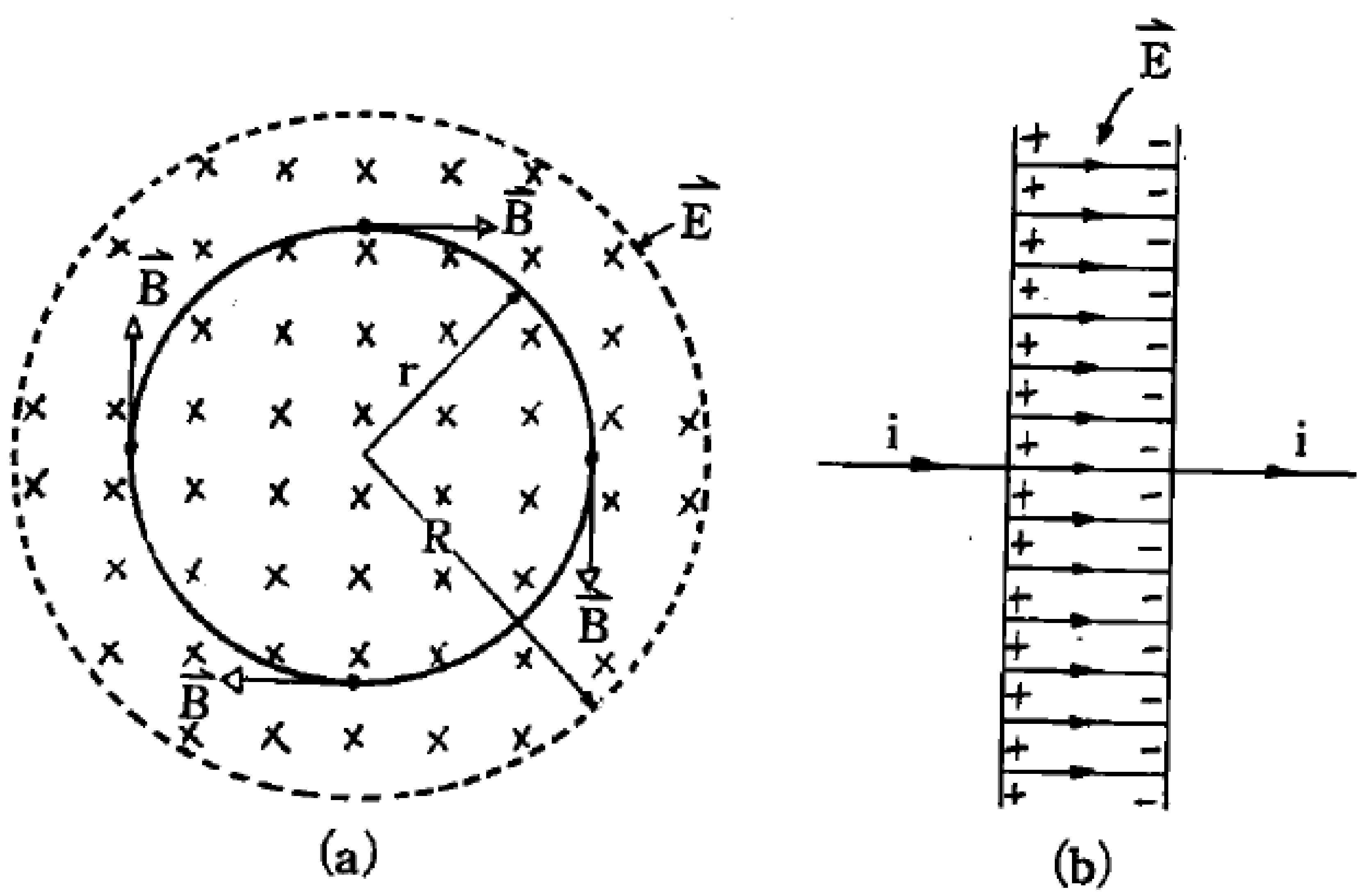


圖 13 — 55

圖 13 — 55 爲顯示自然對稱性的佳例，若能從事頗爲精密的實驗，即可發現由改變中的電場生成磁場。圖(*a*)在四點的感應磁場$\vec{B}$，乃由改變的電場所生，電場的大小增加。欲就數量描述此新效應，可由法拉第感應定律

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \qquad (1)$$

類推而得，此定律斷言由改變的磁場（右端）產生電場（左端）。其對稱之式可寫爲

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \qquad (2)$$

由於所用單位制需在式中加上常數ε_0和μ_0，有些單位制則不需有常數

。（２）式說明由改變的電場（右端）可產生磁場（左端）。在圖13—55(a)中，通量Φ_B或Φ_E均是增加者，而$\vec{B}$線是順時針方向。

導線中的電流也能產生磁場，由安培定律

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$$

作其數量上的描述，i是沿線積分所取廻路流過的傳導電流。因此，至少有兩種產生磁場的方法：(1)由改變的電場及(2)電流。一般而言，兩種可能性都應計算在內，即

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i$$

這種安培定律的重要推廣應歸功於馬克士威（*Maxwell*）。

【感應器】（Inductor）

感應器的構造和變壓器（*transformer*）基本上是相同的，但此器不用交流而用直流是其不同之點。在圖13—56中，Q爲電池組，供應的電流經過華格納錘（*Wagnerscher hammer*）H，而至一繞於軟鐵芯E上的原線圈（*primary coil*），如圖中之虛線所示。由於華格納錘能使電路時斷時續，致使原線圈及軟鐵芯內部生一變動的磁場，後者遂在疊繞於原線圈之上且匝數甚多的副線圈中，引發一高壓的交變電流。但原電流之截斷遠較電路閉合時電流之再生要來得快，故線圈內部磁場之消失也比其重建要快得多。爲使斷路時

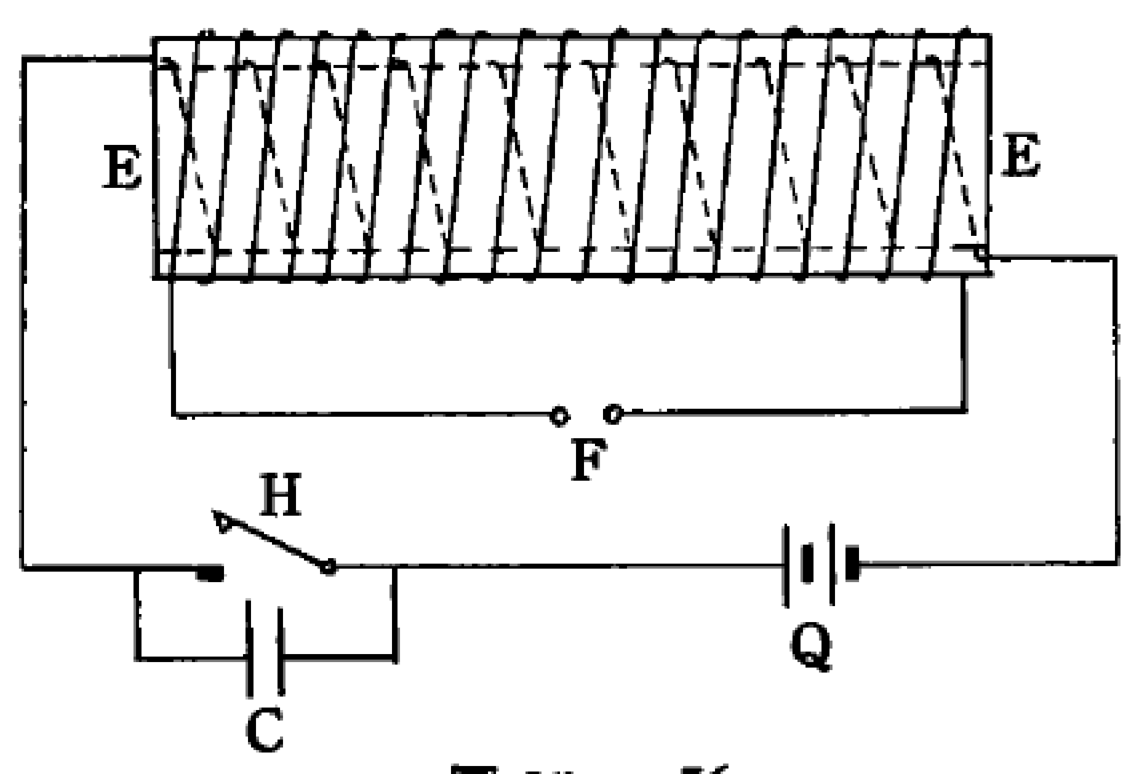


圖 13 — 56
感應器之構造原理

原線圈中電衝之持續時間儘量縮短，通常多在華格納錘之旁並聯一電容器C。又因副線圈中之應電壓，和貫穿副線圈的磁力線數之變化速度有關，故此一電壓在電路打開時要比電路閉合時強得多。在高電壓的作用

下，接於副線圈電路中的火花隙F之間，便會有火花飛躍。

感應器最重要的用途，係用於內燃機之發火裝置。內燃機之點火，是利用發火栓中飛躍的火花，後者則由裝於輕便發電機（*light-electric generator*）中的感應器產生。感應器的原理，在醫學上亦多方採用之。

【感應羅盤】（Induction compass）

這種羅盤的指示方法，是因發生的電流在線圈內流動，而使線圈在地磁場內旋轉。

【感應躍遷】（Induced transition）

又稱受激躍遷或誘導躍遷。

參閱“愛因斯坦誘導發射係數（*Einstein's coefficient for induced emission*）”條。

【感覺底限】（Threshold of feeling）

聲音強度高至某值時，使人的聽覺變成不舒適甚至難以忍受，此強度稱為感覺底限。所有頻率的感覺底限約為120分貝，相當於200達因/厘米^{2}的聲音壓力。

【感覺單位】（Sensation unit）

響度單位，一感覺單位等於20 $\log_{10} p$，p為超過正常的壓力。

【愛因斯坦】（Albert Einstein 1879—1955）

愛因斯坦1879年三月十四日生於德國伍登堡（*Wurttemberg*）的吳爾姆（*Ulm*）。德籍猶太人兼工業家之子。1896至1900年間，在瑞士蘇黎世（*Zurich*）城工藝學校習數理。1902年至1909年在瑞士首都伯恩任專利局專利品審查員，其間曾獲得蘇黎世大學的博士學位。自此開始發表其一連串劃時代的科學論文，使物理學起了革命而成了舉世聞名的人物。1905年的四篇論文，鑄定了他在科學史上的榮譽地位。第一篇即是用浦朗克的量子論解釋光電效應，指出只有將光視為粒

子而不是波才能符合實驗的結果，因此而獲 1921 年諾貝爾物理學獎。第二篇論文導出質量和能量之關係 $E = mc^2$（E 爲能量，m 爲質量，c 爲光速）。第三篇論文是這一年中的獨享盛名之作，卽特殊相對論。第四篇論文卽對於所謂布朗運動的說明，於此愛因斯坦提供了分子與原子實在性的基本觀念。

1909 年，愛因斯坦的聲名大噪，他被聘爲蘇黎世大學理論物理學特別教授。1914年被邀任柏林凱塞威廉姆物理研究所（*KaiserWilhem Physical Institute*）院長，直至1933 年被希特勒驅逐出境爲止。1933 年任普林斯頓高級研究院的數學特約教授，這是爲他特設的機構。1940 年入美國籍，繼續爲他的量子力學之或然率解釋作嚴密校正的工作。1955年四月十八日逝世。

【愛因斯坦方程式】(Einstein's equation)

$$E = mc^2$$

此式首由物理學家愛因斯坦（*Albert Einstein*）提出，他認爲物體的質量是它本身所含能量的度量，這是 1905 年他的狹義相對論之推演。隨後的核反應實驗中，質能的度量證實了此理論。由愛因斯坦方程式 $E = mc^2$ 顯示，當物體能量的改變量爲 E（無論其爲何種形式），物體質量 m 的改變量爲 E/c^2（式中 c^2 是眞空中光速的平方，它可視爲質能單位的變換因數），這方程式也稱爲質能方程式（*mass - energy equation*）。

顯而易見的是，根據愛因斯坦方程式所計算出來的質量，必定是十分微小的，而我們也因此可以明白，在日常生活之中，我們爲什麼不能發覺能之具有重力。但在事實上，一個運動中的（因此而具有動能）物體，其重量要比同一物體處於靜止狀態時大些、又當熱能輸入於一物體中而使其溫度升高時，則該物體之重量亦會增加上去。因此，一物體處於熱態下要比處於冷態下較重。

【愛因斯坦比熱理論】(Einstein's theory of specific heat)

從古典理論(*classical principle*)求得的固體比熱，其值與溫度無關，但從實驗結果，發現固體比熱係隨溫度降低而變小，當溫度近於絕對零度時，其比熱值亦接近於零，此困難由愛因斯坦引用浦朗克(*Planck*)量子說加以解釋後始被解除。

愛因斯坦將構成固體的分子或原子視為獨立的，均按一定頻率ν在它的平衡位置附近作振動。依量子論，一線型振動子的平均能量$\langle E\rangle$

$$\langle E\rangle=\frac{h\nu}{exp\,(h\nu/kT)-1}$$

單原子固體中一原子的振動可分為x,y,z 三方向的諧和振動(*harmonic vibration*)，因此由N個原子組成的固體的總能量(就振動而言)E

$$E=\frac{3Nh\nu}{exp\,(h\nu/kT)-1}$$

熱容量C_v

$$C_v=\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_v=3Nk\frac{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2 exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)}{\left[exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1\right]^2} \qquad (1)$$

令 $h\nu/kT=\Theta_E$

其因次為 $\left(\frac{h\nu}{k}\right)=\frac{[\text{能量}]}{[\text{能量溫度}^{-1}]}=[\text{溫度}]$

因Θ_E具有溫度之因次，故Θ_E 常稱為愛因斯坦特性溫度。若用Θ_E(1)式則可改寫作

$$C_v=3R\frac{\left(\frac{\Theta_E}{T}\right)^2 exp\left(\frac{\Theta_E}{T}\right)}{\left[exp\left(\frac{\Theta_E}{T}\right)-1\right]^2}$$

如T爲高溫，由於

$$\left[exp\left(\frac{\Theta_E}{T}\right)-1\right]^2 \cong \left(\frac{\Theta_E}{T}\right)^2 \quad exp\left(\frac{\Theta_E}{T}\right)\cong 1$$

故

$$C_v = 3R$$

此乃古典理論的結果。在低溫時，因

$$\left[exp\left(\frac{\Theta_E}{T}\right) - 1\right]^2 \cong exp\left(2\frac{\Theta_E}{T}\right)$$

故

$$C_v = 3R\left(\frac{\Theta_E}{T}\right)^2 exp\left(-\frac{\Theta_E}{T}\right)$$

當$T\rightarrow 0$時，$\left(\frac{\Theta_E}{T}\right)^2$雖然趨於無窮大，但$exp\left(-\frac{\Theta_E}{T}\right)$卻隨著溫度降低而很快的達於0，故當$T\rightarrow 0$時$C_v\rightarrow 0$。根據實驗，在低溫範圍比熱係與$T^3$成正比，愛因斯坦理論與此不符，於是在低溫範圍愛因斯坦理論能用於定性，而不能用於定量上。此困難於 1912 年爲德拜(*Debye*)所解決。

【愛因斯坦光電定律】(Einstein's photoelectric law)

在光電效應實驗中，電子吸收入射光子的能量後，脫離金屬表面，其動能爲

$$E_k = h\nu - W$$

式中E_k是脫離電子的動能，h是浦朗克常數，ν是光子的頻率；W是從系統中移去電子所需的能量，又稱爲功函數。

【愛因斯坦空間】(Einstein's space)

假如(x_1,y_1,z_1,t_1)及(x_2,y_2,z_2,t_2)表示在一坐標系內，任意兩事件的坐標，則

$$S_{12} = \left[c^2(t_2-t_1)^2-(x_2-x_1)^2-(y_2-y_1)^2-(z_2-z_1)^2\right]^{1/2}$$

稱做兩事件的間隔(*interval*)，式中c爲光速，t爲時刻，(x,y,z)爲事件在空間的位置坐標。由光速的不變性原理可知，如果在某一

坐標系中，兩事件的間隔爲零，則在所有其他的慣性坐標系中，也必定爲零。

假如兩事件無限接近，可將間隔寫成

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

爲了數學上的方便及給與方程式更系統化的形式，我們常常將時刻 t 寫成 τ，其關係爲

$$\tau = ict \qquad (i^2 = -1)$$

因此 $-ds^2$ 卽爲 $xyz\tau$ 坐標系中，一線素的平方。凡是能將兩事件的間隔以

$$ds^2 = -(dx^2 + dy^2 + dz^2 + d\tau^2)$$

表示的空間，稱爲愛因斯坦空間。

【愛因斯坦球形宇宙】(Einstein's spherical universe)

卽愛因斯坦假設之靜止宇宙(靜態宇宙 *static universe*)之數學模型。此宇宙係接受宇宙推斥力之觀念而成，不久由愛氏自己予以否定。

【愛因斯坦移動】(Einstein's shift)

可見光遭遇強大引力場時，在光譜中出現紅位移(*red shift*)現象。此強大引力場例如密度極大之恆星等。由於強大引力之出現使光在瞬間改變其頻率，而現於光譜上。此爲愛氏在其相對論中所假定者，故名。此移動現象已由太陽光譜及天狼伴星光譜之觀測獲得證明。

【愛因斯坦張量】(Einstein's tensor)

愛因斯坦張量 G_μ^ν 的定義是

$$G_\mu^\nu = R_\mu^\nu - \frac{1}{2} g_\mu^\nu R$$

式中 $\quad R_\mu^\nu = g^{\nu\alpha} R_{\mu\alpha}$ ； $R = g^{\mu\nu} R_{\mu\nu}$

$g^{\mu\nu}$ 爲度規張量，$R_{\mu\nu}$ 爲雷其張量(*Regge tensor*)。在廣義相對論

中，愛因斯坦張量與張力能張量成正比。

由於雷其張量是對稱的，$R_{\mu\nu}=R_{\nu\mu}$，所以$G_{\mu\nu}=G_{\nu\mu}$， 因此愛因斯坦張量有 10 個獨立函數。由張量分析的畢安其恆等式（ *Bianchi identity* ） 得知愛因斯坦張量的協變微分爲零，即

$$\left(R_{\mu}^{\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu}^{\nu}R\right);\nu\equiv G_{\mu}^{\nu};\nu=0$$

這使愛因斯坦張量減爲 6 個獨立函數。

根據能量和動量守恆定律，得知張力能張量應滿足

$$T_{\mu}^{\nu};\nu=0$$

比較上兩式得知

$$G_{\mu}^{\nu}=kT_{\mu}^{\nu}$$

k爲比例常數$8\pi G/c^4$。

【愛因斯坦場方程式】（ Einstein's field equation ）

愛因斯坦於 1911 年提出等效原理（ *equivalence principle* ）之後，將狹義相對論推廣到廣義相對論，重力場幾何化成爲加速度場，於是重力場方程式成爲幾何化形式。他的場方程式是

$$G_{\mu}^{\nu}=\frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu}^{\nu}$$

式中G_{μ}^{ν} 爲愛因斯坦張量，這完全是幾何量，定義爲

$$G_{\mu}^{\nu}\equiv R_{\mu}^{\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu}^{\nu}R$$

R_{μ}^{ν} 爲雷其張量，$R\equiv g^{\mu\nu}R_{\mu\nu}$。$T_{\mu}^{\nu}$ 爲物質的張力能張量。

這是相當於古典力學中牛頓的重力定律，現以度規張量$g^{\mu\nu}$ 代替古典牛頓力學中的重力位ϕ 。

此方程式遵守動量和能量守恆原理，因爲由張量分析知G_{μ}^{ν} 的協變微分爲零

$$G^{\nu}_{\mu};\nu=0$$

因此使

$$T^{\nu}_{\mu};\nu=0$$

這是守恆原理。而且場方程式亦可以由最小作用原理求得，設作爲 $I=I_G+I_F$

$$I_G=\frac{c^3}{16\pi G}\int R\sqrt{-g}\,d^4x$$

爲重力場部分，I_F 爲物質場部分。

由場方程式，可以求得度規張量 $g^{\mu\nu}$ 的解，水瓦茲琦度規（*Schwarzschild metric*）就是由此而來。由此解可以預測光的偏向及水星軌道等問題，這已得到實驗的證實。

【愛因斯坦誘導發射係數】（**Einstein's coefficient for induced emission**）

1917 年愛因斯坦建立以舊量子論爲基礎之光的發射和吸收理論，光的發射與吸收是原子系統與光相互作用的現象。

當原子由較高能態 E_n 躍遷到較低能態 E_m 時可以分爲兩種：一種是不受外界影響的情況下所發生的躍遷，稱爲自發躍遷（*spontaneous transition*）。另一種是原子系統在外界（例如輻射場）作用下由 E_n 躍遷到 E_m，這種躍遷稱爲受激躍遷或誘導躍遷（*induced transition*）。在這兩種躍遷中，都有能量 $\hbar\omega_{nm}=E_n-E_m$ 放出。至於原子由較低能態躍遷到較高能態，只有在能夠由外界得到相對應的能量情況下（例如吸收能量是爲 $\hbar\omega_{nm}$ 的光子）才能發生。爲了描述原子在 φ_n 和 φ_m 兩態間的躍遷機率，愛因斯坦引進三個係數 A_{nm}、B_{nm} 和 B_{mn}，其中 A_{nm} 稱爲由 φ_n 態到 φ_m 態的自發發射係數，它表示原子在單位時間內由 φ_n 態自發躍遷到 φ_m 態的機率。B_{nm} 稱爲誘導發射係數，B_{mn} 稱爲吸收係數，愛氏定義之如下：設作用於原子的光波在 $\omega\rightarrow\omega+d\omega$ 的角頻率

範圍內，其能量密度為$I(\omega)d\omega$，則在單位時間內原子由φ_n態躍遷到φ_m態，並發射出能量為$\hbar\omega_{nm}$的光子的機率是$B_{nm}I(\omega)d\omega$；原子由φ_m態躍遷到φ_n態，並吸收能量為$\hbar\omega_{nm}$的光子的機率是$B_{mn}I(\omega)d\omega$。

愛因斯坦利用熱力學系統平衡的條件建立A_{nm}、B_{nm}及B_{mn}間的關係。在光的作用下，單位時間內原子系統由n態躍遷到m態的機率為

$$A_{nm}+B_{nm}I(\omega_{mn})$$

系統由m態躍遷到n態的機率為

$$B_{mn}I(\omega_{nm})$$

設位於E_m和E_n態的原子數目分別為N_m和N_n，當這些原子與電磁輻射在絕對溫度T時達到平衡狀態，則必須滿足下式的條件

$$N_n[A_{nm}+B_{nm}I(\omega_{nm})]=N_{mn}I(\omega_{nm}) \qquad (1)$$

由馬克士威、波茲曼分佈（*Maxwell-Boltzman distribution*）可知

$$N_m=C(T)\,exp\left(\frac{-E_m}{kT}\right)$$

$$N_n=C(T)\,exp\left(\frac{-E_n}{kT}\right)$$

式中k為波茲曼常數，$C(T)$是溫度T的函數。因而有

$$\frac{N_m}{N_n}=exp\left[-\frac{(E_m-E_n)}{kT}\right]=exp\left[\frac{\hbar\omega}{kT}\right] \qquad (2)$$

將（1）式化為

$$N_nA_{nm}+N_nB_{nm}I(\omega_{nm})=N_mB_{mn}I(\omega_{nm})$$

$$N_nA_{nm}=N_mB_{mn}I(\omega_{nm})-N_nB_{nm}I(\omega_{nm})$$

$$\frac{N_nA_{nm}}{N_mB_{mn}-N_nB_{nm}}=I(\omega_{nm})$$

得
$$I(\omega_{nm})=\frac{A_{nm}}{\frac{N_m}{N_n}B_{mn}-B_{nm}}$$

將（2）式化入上式，得

$$I(\omega_{nm}) = \frac{A_{nm}}{e^{\frac{\hbar\omega_{nm}}{kT}} B_{mn} - B_{nm}} \qquad (3)$$

當熱平衡時，黑體輻射的浦朗克公式為

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{exp(h\nu/kT)} \qquad (4)$$

因 $\omega = 2\pi\nu$

由（3）及（4）式可得

$$B_{nm} = B_{mn}$$

$$\frac{B_{nm}}{A_{nm}} = \frac{c^3}{8\pi h\nu^3_{nm}}$$

【愛因斯坦模型】（Einstein's model）

固體雖有固定的形狀，但組成的原子卽使在溫度趨近絕對零度時，仍可在其平衡位置上作微弱的振動，這是由量子力學所得到的結論。愛因斯坦模型假設在振動很小時，可視固體由3N個互相獨立而頻率均為ω的簡諧振體組成。如是根據量子力學及波司、愛因斯坦分佈得能量為

$$E = 3N\left[\langle n\rangle + \frac{1}{2}\right]\hbar\omega = 3N\left[\frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega}{k_B T}} - 1} + \frac{1}{2}\right]\hbar\omega$$

所以等容晶格熱容為

$$C_v = \frac{\partial E}{\partial T} = 3Nk_B(\beta\hbar\omega)^2 \frac{e^{\beta\hbar\omega}}{(e^{\beta\hbar\omega} - 1)^2}$$

這就是愛因斯坦模型對晶格熱容的結論。其優點為立論簡單，且可指出當 $T \to 0$ 時 $C_v \to 0$ 的事實，但卻因太簡單，以致不能說明當溫度 T 很小時，C_v 與 T^3 成正比的事實。

【愛因斯坦熱容方程式】（Einstein's equation for heat

capacity)

$$C_v = 3R\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2\left[\frac{e^{\frac{h\nu}{kT}}}{\left(e^{\frac{h\nu}{kT}}-1\right)^2}\right]$$

其中C_v是定體積下的熱容，R是氣體常數，h是浦朗克常數，k是波茲曼常數，ν是頻率，T是絕對溫度，e是自然對數基底。

【愛因斯坦質能互換公式】(Einstein's formula for mass-energy equivalence)

參閱“愛因斯坦方程式 (*Einstein's equation*) ”條。

【愛因斯坦擴散方程式】(Einstein's diffusion equation)

謂由布朗運動所引起，球狀黏滯粒子在空氣或液體中所運動的平均平方位移，即

$$x^2 = \frac{RT}{3\pi\eta rN}\tau$$

τ是運動的時間，R是氣體常數，T是絕對溫度，r是粒子的半徑，η是黏性係數，N是亞弗加厥常數。

【愛因斯坦關係式】(Einstein's relation)

在中性氣體中，某種帶電粒子的動率與擴散係數的關係式。若粒子呈馬克士威、波茲曼分佈，則關係式使擴散係數等於動率與溫度之乘積。

【愛因斯坦躍遷機率】(Einstein's transition probability)

愛因斯坦推導浦朗克的黑體輻射 (*black-body radiation*) 公式時，所導出的三種係數，在討論光譜強度時甚爲重要。假設一系統中的二量子態，m態與n態，其能階E_m高於E_n；從較高態躍遷到較低態時所生輻射之頻率爲：

$$\nu_{mn} = \frac{E_m - E_n}{h}$$

再假設有很多相同的系統（原子或分子），在溫度為T時與輻射場平衡，則系統中從m態躍遷至n態的自發輻射（*spontaneous radiation*）發射率是：

$$-\left(\frac{dN_m}{dt}\right)_1 = A_{mn} N_m$$

式中A_{mn}是愛因斯坦自發輻射係數，N_m 為在m態的系統數。但系統從較高態躍遷至較低態的速率亦應視輻射的密度ρ（ν_{mn}）而定，因此有由下述關係式定義之另一過程：

$$-\left(\frac{dN_m}{dt}\right)_2 = B_{mn} N_m \rho(\nu_{mn})$$

B_{mn}為愛因斯坦誘導發射係數（*Einstein's coefficient for induced emission*）。

再者系統中藉吸收輻射可以由較低態躍遷至較高態，其反應速率為：

$$-\left(\frac{dN_n}{dt}\right)_2 = B_{mn} N_n \rho(\nu_{mn})$$

N_n是在量子態n的系統數，B_{nm}為愛因斯坦吸收係數。

【愛迪生】（Thomas Alva Edison 1847—1931）

美國電學家、發明家。幼為鐵路售報童，工作之餘研究印刷、電機及其他器械之裝置，後為電報局練習生，致力於發明，最主要的有四重電報、碳絲白熱電燈、鎳鐵蓄電器、留聲機、活動電影等，世稱發明大王。

【愛迪生效應】（Edison's effect）

即熱離子發射；高溫的金屬導體自表面發射帶電粒子（電子或離子），鄰近金屬表面附近的部分電子或離子，因高溫而使其無規運動得到足夠的動能，克服表面的位壘，脫離束縛，逸出金屬之外。在低於約1,200°K 的溫度時，主要是離子發射；高於此溫度時，則多為電子發

射，但要視發射物質（尤其在表面處）的純度、功函數和表面附近的電場而定。

1883 年，發明電燈的愛迪生（*T.A. Edison*）為圖解決白熾燈泡玻璃管上變黑的現象，曾在電燈泡內加一陽極，結果發現此眞空導電及整流（*rectify*）現象。因為沒有能與克汝克士（*Crookes*）的實驗相連繫，而未能予以解釋，遂名之為愛迪生效應。後經佛萊銘（*Fleming*）用電子說予以解釋，且利用愛迪生所發現的整流現象而繼之發明二極管（*diode*），以作轉變交流電為直流電的工具，為電子管的發展奠下了基礎。

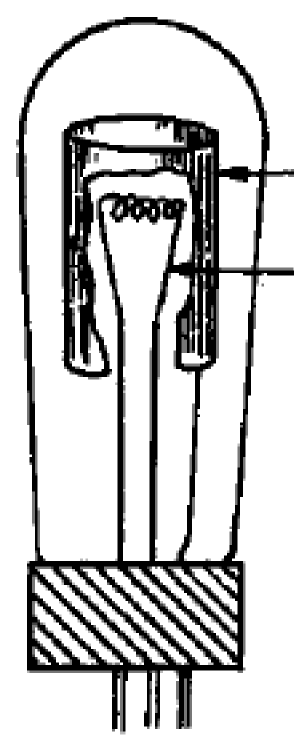


圖 13 — 57 二極管

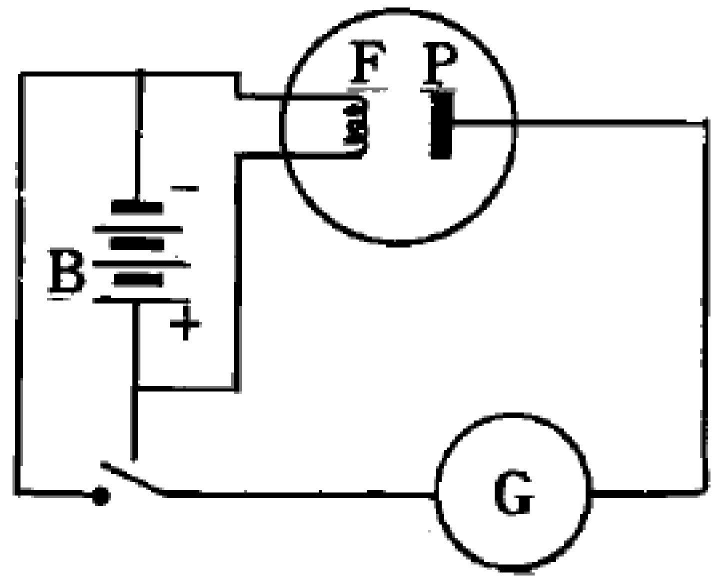


圖 13 — 58
愛迪生效應

圖 13 — 57示最簡單的二極管構造，為一燈絲與環於燈絲外圍之金屬圓板，封於眞空管內而成。燈絲用以發射電子，稱為燈絲或絲極（*filament*）；金屬板用以收集電子，稱為屏極或板極（*plate*）。當燈絲通以電流後使之紅熱，然後將屏極接於電源的正極，絲極接於負極，則由接於線路中電流計的偏轉（如圖 13 — 58），知其中必有電流通過，但如將電源反接，即屏極接於電源負極，絲極接於正極，則電流計不見偏轉，故可知無電流通過。此現象即愛迪生效應。

上述現象告訴我們，當燈絲被燒熱時，有電子被解放，如屏極帶正電，則被吸引而生電流；反之，如屏極為負，則互相排斥，於是電流就不能通過。

【愛迪生蓄電池】（Edison's storage cell）

愛迪生蓄電池是用鎳鐵為極片，故又稱鎳鐵蓄電池。使用的電解液為氫氧化鉀。此式電池的優點甚多，如構造堅固，忍受震動及碰撞，極

板或鋼殼不致扭曲或脫落。至於充電過量，偶然短路或反向充電，或在任何情況下擱置不用，電池仍屬安全的。

【愛思強機器】(Astron machine)

一種實驗用的熱核反應裝置，其磁場由高能量的電子圈所產生，並成“磁鏡”(*magnetic mirror*) 的形狀。這些高能量的熱電子也成爲熱離子的熱源。

【損失】(Loss ; Dissipation)

電能已損耗，但並無完成有用的工作者，謂之損失 (*loss*) ; 電路上化熱之消耗，亦謂之損失 (*dissipation*)。

【新星】(Novae)

星球演進過程中，溫度和壓力增加到一定值時，某種核子變化 (例如氦熔爲碳) 的速率會突然增加，產生大量能量以激震波 (*shock wave*) 方式傳出，星球核心就像氫彈一樣，轟然爆發，此時星球體積增加，亮度忽然升高至幾千甚至幾萬倍，但是整個星球並不炸散，瞬即平復而至正常的亮度，這樣的爆炸有時可來好幾次，是之謂新星。它是變星 (*variable star*) 的一種。

新星的絕對星等 (*absolute magnitude*) 大概在 − 6 和 − 8 之間。下表列示一些新星的特性：

新星的光度

最亮時絕對星等	最初十日內每天下降星等	較負四星等爲亮的日數	爆炸時和爆炸前後星等之別
− 8	0.25	20 ~ 40 日	8 至 13 星等
− 7	0.1	40 ~ 60 日	8 至 13 星等
− 6	0.005	200 日以上	8 至 13 星等

表中所列當然只是大概值，每個新星的變化各不相同。此表主要目的是用來對照古籍上光度變化的記載，以鑑別超新星和新星。新星多在

銀河附近，近來在星雲中發現新星也不少。它的成因還沒有一定的確論，有人說是兩個星的衝突；又有說是暗星或微光度忽然侵入星雲質中，由摩擦而發光。

由視線速度（*radial velocity*）及將視角膨脹與線膨脹相比，可求得其距離。如天鷹座中新星（*Novae Aquilae*），在1918年其亮度突然增加至13星等，在1922、1926及1931 再行照相時，顯示有膨脹的氣體殼圍繞之，其半徑每年增加 1″。其視線速度為1,700 *km/sec*，求得其距離為1,200光年。 其極大的絕對星等為－8，爆發前的絕對星等為＋5。

由新星光度曲線的形狀，將其光度變化的久暫分為快慢兩種。慢新星在其極亮以後亮度表現動盪式變化慢慢低下（如1936年天鷹座中新星V_{356}）。1918 年的天鷹座中新星為快新星，1934 年的武仙座新星（*Novae Herculis*）為中等的慢新星。

大多數的新星距離均極遙遠，在其爆發以前階段，其絕對星等與太陽相等，其視星等常比10或15星等為暗。

光度所以迅速增加和以後衰滅之故，乃因一層物質被射出以後，便形成一團表面發光體，發出去的總流量和光的表面成正比而增加。

在我們銀河內每年約爆發二、三十個新星。在仙女座銀河中約每二年間有新星爆發。

【新鉒】（**Meso-thorium**）

放射元素之一，符號為*Ms Th*。

【暗星雲】（**Dark nebulae**）

對於發光的瀰漫星雲（*diffuse nebulae*）來說，天空中還有一種自己不發光的星雲，散在銀河附近，這叫做暗星雲，又稱黑暗星雲。

在天鵝座（*Cygnus*）內銀河區，及麒麟座（*Monoceros*）內均有此種暗星雲，這現象顯然是因為銀河遠星和我們之間有吸收光線的物質

存在。在銀河照片上，明亮物質雲或星球密集區內常顯現一塊殆爲無星的黑暗區域。暗星雲的形狀常有不規則的變動，黑暗物質所組成的雲能吸收光線，故在暗雲後面的恆星顯得暗淡無光。

暗星雲的距離，可依天空中黑暗星雲和其鄰近明顯區內的星等m和$m+1$間每平方度的星球計數$A(m)$的方法測定之。

【暗帶光譜】(Dark band spectrum)

在連續光譜的光源與分光鏡之間，爲透明固體或液體時，光譜被吸收之區域較寬而成一暗帶。

【暗箱】(Dark box)

許多物理學上使用之儀表，往往常只知道如何操縱它，而不知其內部之構造原理，這些儀表統稱曰暗箱。

【暗線光譜】(Dark line spectrum)

明亮之背景而配列暗線之光譜，或譜線中一部分較其他爲黑，是爲暗線光譜。亦即在連續光譜上橫列許多黑線。

連續光譜係白熱固體或流體所產生，光譜上可見部分自紫而紅連續不斷。光譜顯出黑線係較冷之不透明氣體吸收光源一部分熱而產生。從暗線之條紋可以察知組成氣體之化學元素。

【暈】(Corona)

暈是天空現象中最美麗的一種，但平常所看到的都是晚間月亮旁的暈，有時作白色，間或有紅、橙、黃、綠等色，亦不甚顯明。可是太陽四周的暈，要比月暈美麗得多，可惜因爲太陽光芒刺目，所以很少有人注意。無論月暈或是日暈，它的成因都是因爲天空中佈滿了冰針或是六角形的冰晶雪片，月光或是日光經過這種冰針或是雪花的折光和反射作用，就成爲暈。這種冰針和雪花離地面的高度約自6公里至10公里，從地面上看起來，好像天上搭了帳幕，蔚藍的青天變爲魚白色。這種如帳幕的雲，在氣象學上稱爲卷層雲(*cirrostratus*)。最普通的暈是

22 度的暈，就是環繞月亮或太陽的一個圈，它的半徑是22度，精密說起來，若以暈中黃色圈爲標準，它的半徑是22度50分。我們只要曉得月亮和太陽在天空的視直徑約各半度（月亮的平均視直徑爲31分5秒，太陽的視直徑略小），就可明瞭22度是多麼遠了。暈的顏色靠近太陽或月亮一邊，是鮮紅的，依次向外則有橙、黃、綠、藍、靛、紫色。內部的紅、橙、黃諸色尋常所見的日暈尚易認，藍、靛、紫各色就很難辨。此外尚有46度的暈、90度的暈。

【暖流】（Warm current）

大洋中洋流之起於赤道附近者，其溫度較周圍之水爲高，稱爲暖流。絕大部分的暖流，是由熱帶流向溫帶去，鹽分較濃，氧氣較少，呈透明而美觀的青碧色。例如黑潮（*kuroshio*），是由菲律賓的東方，流經臺灣、琉球、日本的南方而向東流去的洋流。濃厚的青碧色，所以才有黑潮之名。它也是暖流之一，所以很暖和（15～30°C），鹽分比較濃，溶化的氧氣量少，流速是每小時4～6 *km*。

【暖鋒】（Warm front）

優勢的暖氣團爬到冷氣團的上面而上升，就造成暖鋒。鋒面的傾斜緩慢，所以有雲的範圍，或下雨的分佈較廣。

暖鋒從西接近時，上空先有上層雲，接著中層擴大，不久成爲下層雲而下雨。暖鋒通過後，風向會很快的改變，雨停天氣變晴而暖和。

【會合週期】（Synodic period）

天體廻轉一週，回到原來包含地球與太陽之時圈的關係位置所需之時間，亦即連續二個朔月間的時刻間隔爲29.5日，此稱爲會合週期或稱位相週期。月球回到同樣的恆星方位所需時間爲$27\frac{1}{3}$天，這是恆星週期（*sidereal period*）。恆星和會合週期相差約二日，乃因地月系環繞太陽同時月球環繞地球廻轉之故。

如果月球和太陽在天球上某定位，例如在春分點，則$27\frac{1}{3}$日後，

地月系的重力中心必須經過約 27° 之角（如圖 13—59），而月球再與春分點相重合，但月球必仍運行 27° 再與太陽達到會合點，故其會合週期爲 $29\frac{1}{2}$ 日。於是月球的會合週期比其恆星週期爲長，其增長之時刻的長度，卽爲使再運行 27°（略大於此數）的時間。

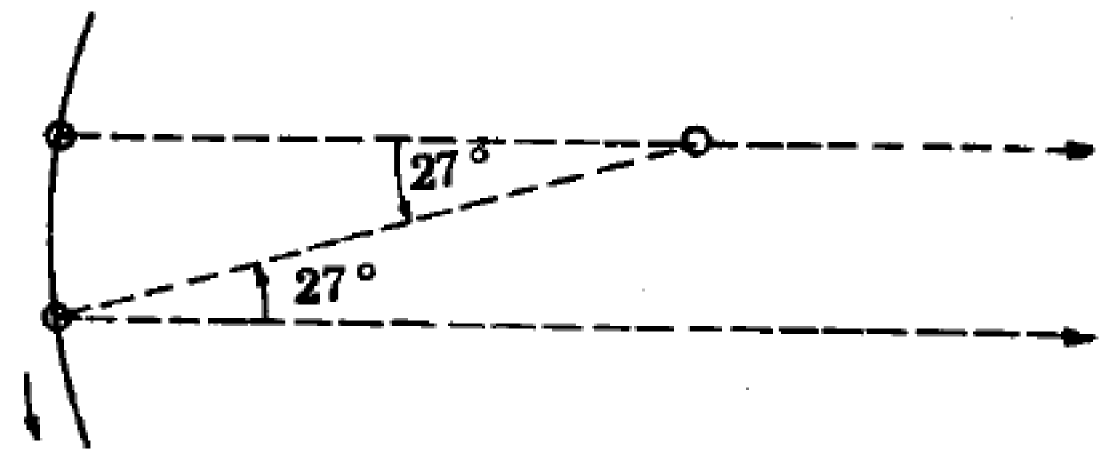


圖 13 — 59
恆星月和會合月

地球以 $365\frac{1}{2}$ 日的週期環繞太陽公轉一週，故太陽爲在天球上向東視運行每日 360／365 度，月球環繞地球以 $27\frac{1}{3}$ 日完成一週；故月球在天球上向東視運行爲每日 $360/27\frac{1}{3}$ 度，這兩個向東視運行的差爲月球在一天內運行超前於太陽之角：

$$\frac{360}{27\frac{1}{3}}-\frac{360}{365\frac{1}{4}}=\text{太陽和月球間每日增加的角距離}$$

因月球和太陽以 $29\frac{1}{2}$ 日到達會合點，則其在天空中每日向東運行超過太陽 $360/29\frac{1}{2}$ 度，$360/29\frac{1}{2}$ ＝太陽月球間每日增加的角距。

故
$$\frac{360}{27\frac{1}{3}}-\frac{360}{365\frac{1}{4}}=\frac{360}{29\frac{1}{2}}$$

卽
$$\frac{360}{Psid}-\frac{360}{P\oplus}=\frac{360}{Psyn}$$

式中 $Psid$ ＝ 月球的恆星週期

$P\oplus$ ＝ 地球公轉的週期

$Psyn$ ＝ 月球的會合週期

消去方程式兩邊 360° 的數，則 $\frac{1}{Psid}-\frac{1}{P\oplus}=\frac{1}{Psyn}$，這一關係非特對月球爲適用，卽在太陽系中任何行星皆可適用。

【會聚透鏡】(Convergent lens)

光線經過一透鏡後，若能會聚於一點，則稱此透鏡爲會聚透鏡。因爲各種凸透鏡(*convex lens*)皆有會聚光線的作用，故凸透鏡亦稱會聚透鏡。

【楔】(Wedge)

楔也是斜面的一種，不過不是使物體沿斜面移動，而是用力使斜面插在物體下方，或插進物體內。楔面越薄(如圖 13—60)，越容易在物體的阻力下，達到工作上的目的。使用楔時所產生的摩擦力很大。斧頭、鑿子、鉋子、銼刀、針、釘子、牙齒的咀嚼邊緣和衣服上的拉鍊等，都是楔的應用。楔常用來劈木材、打石頭。

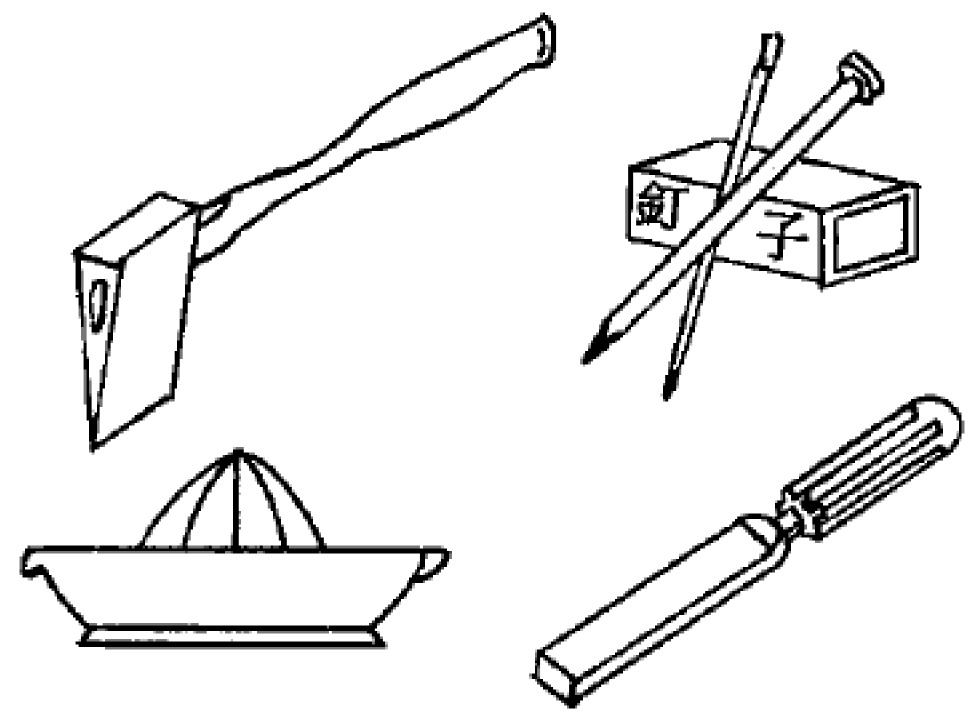


圖 13 — 60　楔的應用

【極】(Pole)

磁鐵的一端或電池的一個電極。

【極小物標之放映】(Projection of extreme small object)

所謂極小物標之放映可分兩端來敘述：(1)一小物標之放映籠罩在一個相當大的面積下(例如一平方吋)，此即在顯微膠片上的字跡；(2)一毫米的千分之一或更小尺寸的微細物標之放映，此即正常由顯微鏡看見的物標。

對於第一場合，光學組成部分之排列如圖 13—61 所示，此儀器之重要部分爲放映透鏡，特殊設計爲掩蓋一廣大視野(有時大至60度)，且在相同時間用一低的鏡徑比，往往是$F/3.5$。因此等透鏡常有一吋的焦距及其鏡徑約爲一吋的三分之一

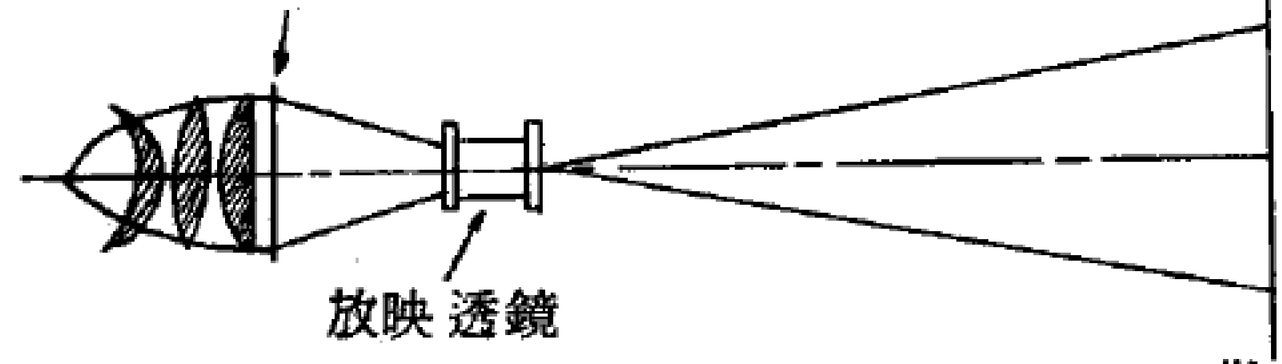


圖 13 — 61

，勢必光源之放大物像落在透鏡上必須不超過此大小，故強力光源必須特殊的小。一種非常小的緊密線圈鎢絲常用在此種目標上，凝光透鏡系統之設計亦應考慮；因該系統有超短焦距，而又企盼由光源獲得一個愈大愈好的光線固體圓錐。但若企圖在一相當距離（例如20呎）處放映物像，則必須用一5安培弧光爲光源，在此場合凝光鏡應用抗熱玻璃製造。另一方面，弧之陷口的熱量集中在放映鏡上可能使此透鏡斷裂。

在第二場合中，卽須詳述顯微鏡的物標，必須使用顯微鏡成件以配合一強光源，在圖13—62中卽假定顯微鏡已用一般方式配置之，且此物標已適當的焦聚。在光源(選用一250瓦高壓水銀弧光燈)之適當距離處安置一凝光透鏡，以造成一足夠大的汞弧放大物像，以充滿顯微鏡底層凝光鏡之鏡徑。因熱度集中於此點十分可觀，故最好插入一塊或二塊抗熱玻璃，且最好能有水流貫通，光柱之情形在圖中已示明。彩簾光闌(1)

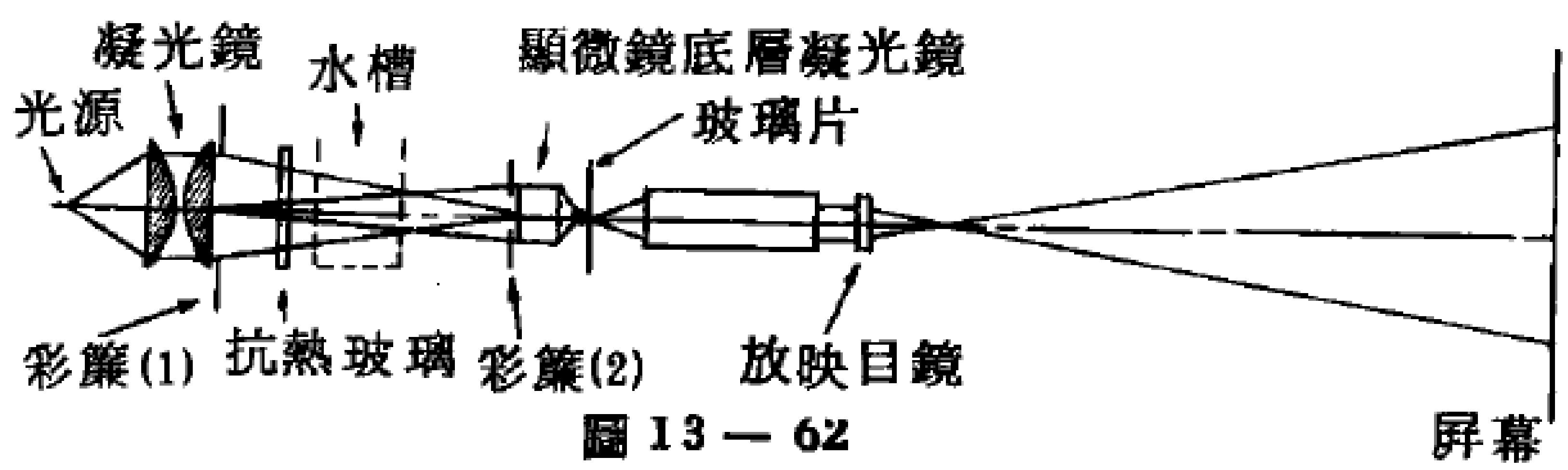


圖 13 — 62

今爲一有效光源，而顯微鏡底層凝光鏡則前後調整至彩簾的物像在顯微鏡片上物標的平面中形成。故見調整彩簾(1)將控制在屏幕上之照明面積(2)彩簾則控制顯微鏡物鏡之有效鏡徑，在顯微鏡中用一特殊放映目鏡亦頗重要，因可在屏幕上保持一良好的淸晰度且可得一平坦的視場。

所述之安排情形可以全部顯微鏡物鏡度數包括油浸物鏡之放映在內，在油浸場合，在距離爲4呎之屏幕上放大率可達2,000 倍，但本質上須房屋完全黑暗，且將光源罩蓋，俾防止雜亂之光線漏過射入屋中。

【極化之反電動勢】(Counter e. m. f. of polarization)

極化後之電解器，其兩極所生之電動勢，方向與外加電動勢之方向相反，故常名爲極化之反電動勢。

【極化率】(Polarizability)

孤立的原子未受外電場作用時，因其原子核的重心與電子團的重心處在同一點，故其偶極矩爲零。當它被置於外電場中時，因外電場的作用，核將向電場方向移動，電子則向電場的反向移動，而呈極化，其偶極矩μ_{ind}爲

$$\mu_{ind} = \alpha_e E \qquad (1)$$

此處之α_e通稱爲原子的電子極化率（*electronic polarizability*）。（1）式中之μ_{ind}係因外電場的感應而生的偶極矩，故通稱它爲感應偶極矩（*induced dipole moment*）。

玆爲估計此α_e的大小，提出一如圖13—63所示的簡單模型，將原子視爲帶電Ze的核爲其中心，其負電荷均勻地分佈成一半徑爲r的球，d表示因外電場作用核的位移。根據此模型，核的復原力則決定於半徑爲d之球內所包含的負電荷q，此q爲

$$q = \frac{4}{3}\pi d^3 \rho$$

但ρ爲此球內負電荷的密度。半徑r之球內所含的負電荷爲$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho$，此亦可寫爲Ze，即

$$Ze = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$

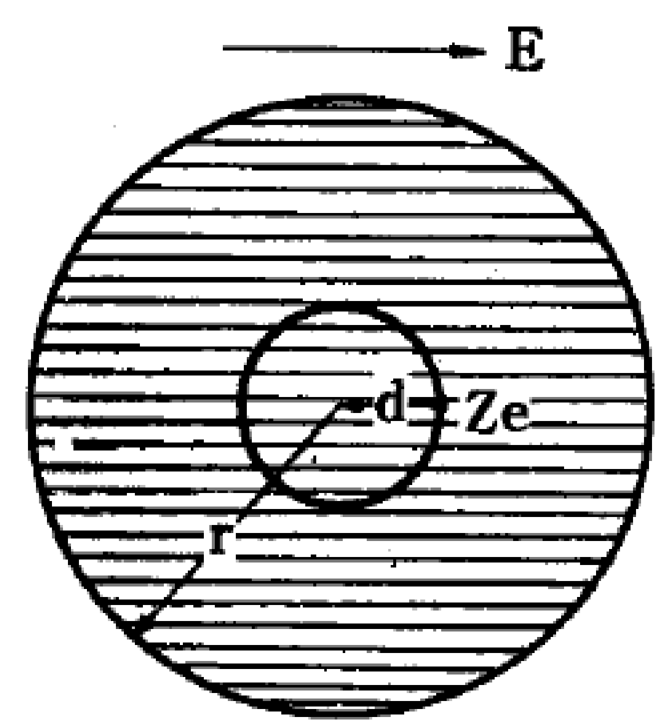


圖 13 — 63

取此二式之比，可得

$$q = \frac{Zed^3}{r^3}$$

於是核的復原力爲

$$\frac{Zed^3}{r^3} \times \frac{Ze}{d^2} = \frac{Z^2 e^2 d}{r^3}$$

再由平衡條件，得

$$ZeE = \frac{(Ze)^2 d}{r^3} \quad 或 \quad E = \frac{Zed}{r^3}$$

於是，因電場之感應而起的暫時偶極矩μ_{ind}可寫作

$$\mu_{ind} = Zed$$

或改寫作

$$\mu_{ind} = r^3 E \qquad (2)$$

在另一方面，此μ_{ind}亦可寫作

$$\mu_{ind} = \alpha_e E \qquad (3)$$

由（2）式與（3）式之比較，得電子極化率爲

$$\alpha_e = r^3$$

其因次爲L^3，因原子半徑$r \cong 10^{-8}$厘米，故α_e值約爲10^{-24}厘米^{3}之程度，從此吾人亦能估計出d，對普通的外電場（$E = 300$伏特／厘米），d值約爲10^{-15}厘米。從此可知對普通的外電場，d值則遠比r值爲小。

由$\alpha_e = r^3$的關係，原子序數大的原子的極化率比原子序數小的原子的極化率爲大；處在主量子數較大之殼上的電子，對極化的賦與，較主量子數n爲小之殼上之電子者爲大，此因處在主量子數小的殼上的電子被束縛而不易位移。從後述的事實，正離子的極化率比其中性原子者爲小，負離子的極化率則比其中性原子者爲大。

當一分子受外電場作用時，一如原子受電場感應，屬於各原子的電子均對各該原子核實行位移，以生電子極化；組成分子的原子或離子，在通常情況也作位移，使分子發生極化，此種極化通稱爲原子極化（*atomic polarization*）或稱爲離子極化（*ionic polarization*）。因分子中離子的位移而起的偶極矩，亦可寫作如（1）式所示之形式。但α_e須換爲α_a，此α_a稱爲原子極化率或稱爲離子極化率。根據實驗，許多分子的α_a約爲α_e的百分之十。

【極化強度】（Polarization）

一物質的極化強度$\vec{P}$定義爲單位體積內介電質之電偶極矩。假如$\vec{p}$

爲每一原子或分子內所感應的電偶極矩，n 爲單位體積內之原子數或分子數，則極化強度爲

$$\vec{P} = n\vec{p}$$

例如一塊厚度爲 l 表面爲 S 的平板形物質，放在一均勻電場 $\vec{\varepsilon}$ 中，表面 S 與電場 $\vec{\varepsilon}$ 垂直（如圖 13—64）。平行於電場 $\vec{\varepsilon}$ 的極化強度 $\vec{P}$ 亦與 S 垂直。因爲平板的體積爲 lS，所以它的總電偶極矩爲

$$\vec{P}(lS) = (\vec{P}S)l$$

但是 l 爲出現在二表面上的正電荷及負電荷兩者之間的間隔距離。根據定義，電偶極矩係等於電荷乘以距離，因此得一結論：出現在每一表面上總電荷量爲 PS，因而在一極化的平板的面上，每單位面積的電荷 σ_{pol} 係與 P 相等，或

$$\sigma_{pol} = P$$

雖然上式是由一特別的幾何形狀之物質極化時而得的結果，但是它對一般情形仍屬有效，即在一片極化物質的表面上單位面積上的電荷，與極化強度 $\vec{P}$ 在垂直於物體表面之方向的分量相等。如圖 13—65 中，A 點之電荷密度就是

$$\sigma_{pol} = P_N = P\cos\theta$$

因爲極化強度 $\vec{P}$ 爲單位體積之電偶極矩，故它的單位爲（庫米）米$^{-3}$ 或庫/米^2。

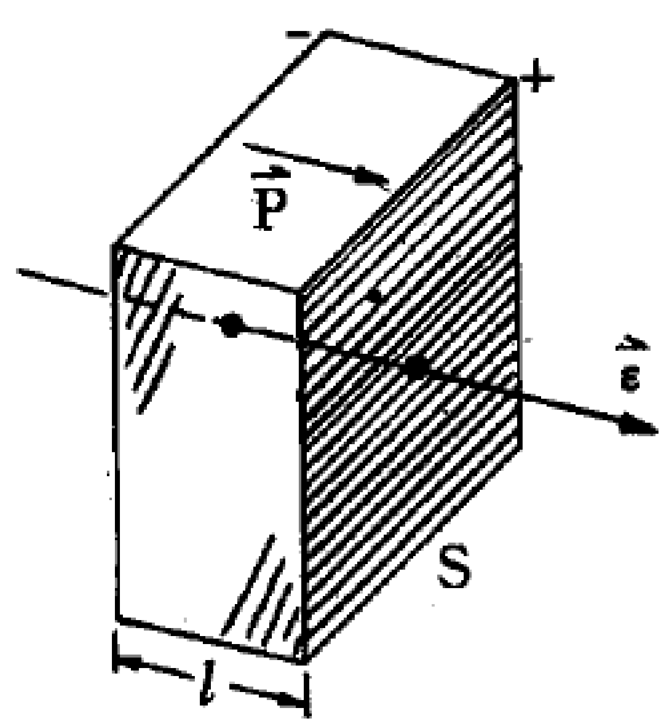


圖 13 — 64
一極化平板物質

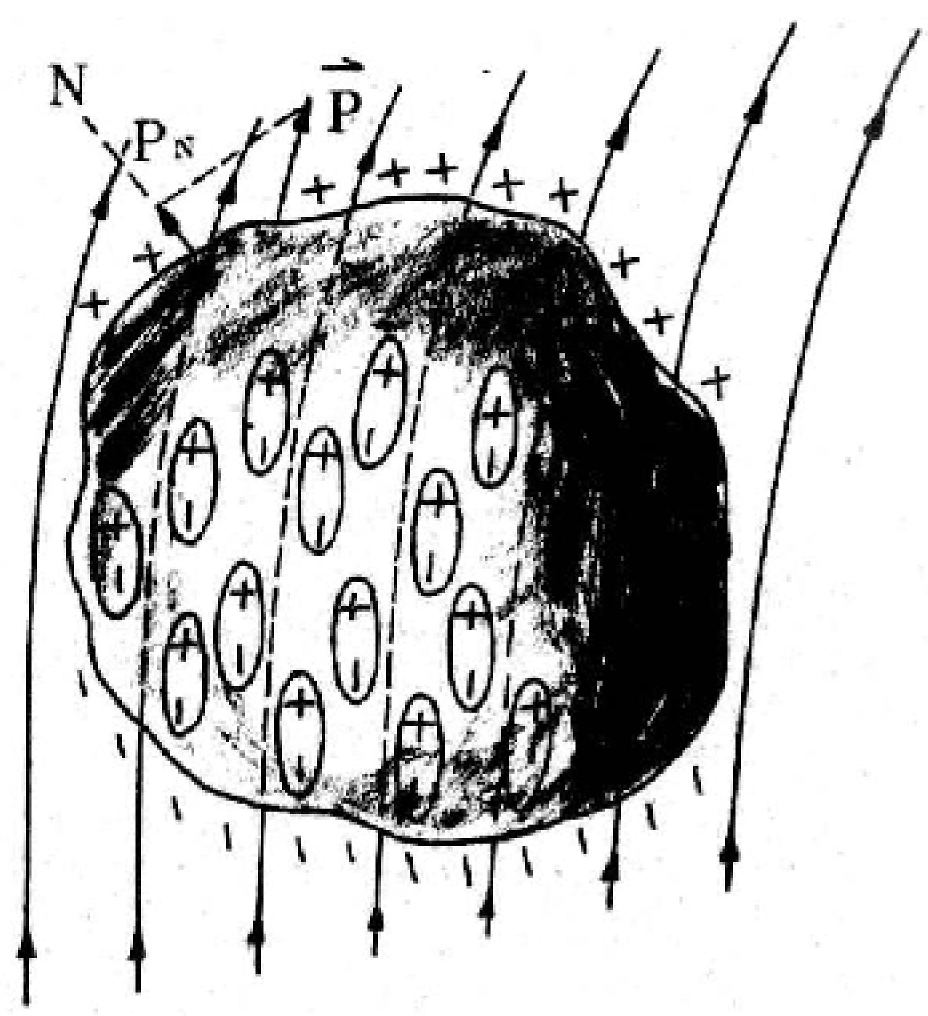


圖 13 — 65
因電場而生之物質的極化

【極化電流】（Polarization current）

由於極化密度不均勻時，會造成極化電荷的效應，因此對介電質而

言，高斯定律的微觀結果，就有待考慮的餘地，如果利用常觀的觀念求平均的結果，則介電質內的電荷，可被區分為自由電荷（*free charge*）ρ_{free} 及極化電荷（*polarization charge*）ρ_{pol}，前者表示能夠從介質內任意加入或取出的電荷，而後者正是用來表現介質的介電特性的。所以高斯定律可被推廣為

$$\nabla \cdot \vec{E} = 4\pi\,(\rho_{free} + \rho_{pol}) = 4\pi\,(\rho_{free} - \nabla \cdot \vec{P})$$

故
$$\nabla \cdot \vec{D} = \nabla \cdot (\vec{E} + 4\pi\vec{P}) = 4\pi\rho_{free}$$

而 $\vec{D} = \vec{E} + 4\pi\vec{P}$，如果極化 $\vec{P}$ 又是時間的函數，它就會產生所謂極化電流，這是因為當在 dt 時間內每個電偶極的偶極矩從 $\vec{p}$ 變為 $\vec{p} + d\vec{p}$ 時，電偶極中的正負電荷的位置就發生變動，因而造成電流

$$\vec{J}_{pol} = Nq\vec{v} = Nq\frac{d\vec{r}}{dt} = N\frac{d\,(q\vec{r})}{dt} = N\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d\vec{P}}{dt}$$

式中 N 表示在單位體積內電偶極的數目，q 為每個電偶極在其偶極矩被改變時移動的電荷。這個電流密度當然也應該被包含在安培定律的 $\vec{J}$ 內：$\vec{J} = \vec{J}_{other} + \vec{J}_{pol}$，因此，在介電質內如單考慮極化，安培定律就要被修正為

$$\nabla \times \vec{B} = \frac{4\pi}{c}\,(\vec{J}_{other} + \vec{J}_{pol}) = \frac{4\pi}{c}\vec{J}_{other} + \frac{4\pi}{c}\frac{\partial}{\partial t}\vec{P}$$

這個 $\vec{J}_{other}$ 又可被分為自由電荷在空間運動所造成的電流與傳導電流（*conduction current*）（這兩種電流我們合稱為自由電流 $\vec{J}_{free}$）以及磁化電流 $\vec{J}_M$。

【極化電荷】（Polarization charge）

介電質（*dielectric*）在電場內會有極化（*polarization*）現象。當介電質內極化密度不均勻時，就會造成極化電荷 ρ_{pol} 即

$$\rho_{pol} = -\nabla \cdot \vec{P}$$

要是極化不均勻，那麼進入某一個體積單元的電荷與離開的電荷數目就不一定相等。換句話說，該體積內就有電荷密度存在。

如圖 13—66所示，若$\overrightarrow{P}$和面是垂直的話，通過這個面的電荷就等於$\overrightarrow{P}$乘以這面的面積。假若$\overrightarrow{P}$平行於面，則沒有電荷通過此面。因此我們很容易推廣爲：通過一假想面的電荷，是$\overrightarrow{P}$的垂直分量乘以該面的面積，即

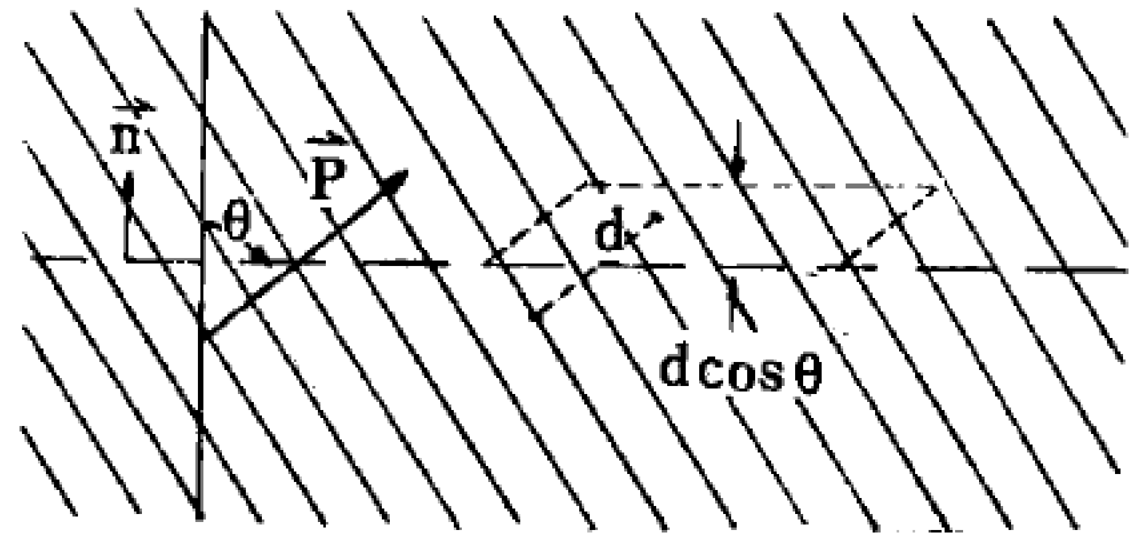


圖 13—66

$$\sigma_{pol} = \overrightarrow{P} \cdot \overrightarrow{n} \qquad (1)$$

若設這個假想面是在介電質之內，(1)式代表了通過此面的電荷，但並不會形成面電荷。因爲在面的二側都有介電質的極化，故效應互相抵銷。然而，這種電荷的位移卻可以形成體電荷密度。由於極化而位移出一個假想體積V的總體電荷，等於圍繞該體積的封閉曲面S上的$\overrightarrow{P}$之垂直分量的面積分。假如體內多餘的電荷是ΔQ_{pol}，則

$$\Delta Q_{pol} = -\int_S \overrightarrow{P} \cdot \overrightarrow{n}\, da \qquad (2)$$

如圖 13—67。我們可以將ΔQ_{pol}用電荷密度來表示

$$\Delta Q_{pol} = \int_V \rho_{pol}\, dV \qquad (3)$$

(2)式及(3)式可合併成一式

$$\int_V \rho_{pol}\, dV = -\int_S \overrightarrow{P} \cdot \overrightarrow{n}\, da$$

而此式子與高斯定律（*Gauss' law*）相仿，它表示了極化向量$\overrightarrow{P}$與由於極化而引起的電荷密度ρ_{pol}之間的關係。再利用向量微積分中的高斯定理，將左端的面積分化爲體積分

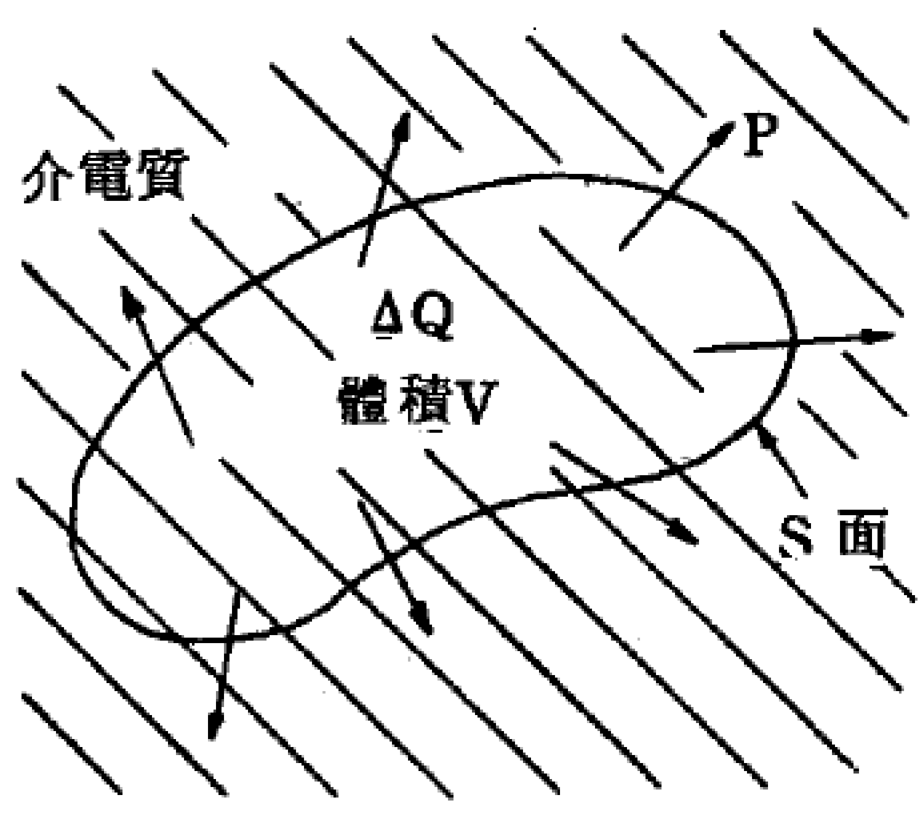


圖 13—67

不均勻的極化可在介電質內產生極化電荷

$$\int_S \overrightarrow{P} \cdot \overrightarrow{n}\, da = \int_V \nabla \cdot \overrightarrow{P}\, dV$$

即得 $$\nabla \cdot \overrightarrow{P} = -\rho_{pol}$$

假若極化是不均勻的，那麼極化向量$\overrightarrow{P}$的散度的負數就是介電質內出現

的電荷密度。這是眞正的電荷密度，我們稱它爲極化電荷的緣故只是爲了表示它是由極化而來的。

【極化電磁波】(Polarized electromagnetic wave)

電場和磁場在空間保持著固定方向的電磁波（或者比較複雜一些，在空間根據某一規律改變著方向的電磁波），稱爲極化電磁波。電磁波是橫波，卽其電場和磁場的方向永遠垂直於電波傳播的方向，並且電場與磁場的方向又互相垂直。但在與電波傳播方向相垂直的平面內，電場與磁場一方面互相垂直，一方面卻可佔有任意的方向。由於電磁波的產生條件與傳播條件不同，它們的電場和磁場可能是在空間保持著固定的方向，此種情況下的電磁波是平面極化波；也可能是根據某種規律改變自己的方向，卽場的方向時時刻刻都在旋轉，此種是橢圓極化波；最後也可能是無規律地紊亂地改變著自己的方向，此種是非極化波。無線電波儘管極化程度可能不同，但總歸是極化波，無線電波的極化性質主要是隨著發射這些電波的天線型式而變化（有時電波在傳播過程中也可能改變自己的極化性質）。最簡單的天線，如偶極子或平行偶極子系統，以及一般說來，由平行導線所組成的天線，所產生的都是平面極化波，並且這些波的電場與偶極子或天線導線的方向平行（而磁場則與導線方向垂直）。例如，在長波天線內，當天線離地高度小於波長時，則天線中只是垂直部分發射無線電波，因此由這種天線所發射出的無線電波的極化情形是電場永遠處於垂直的方向。在短波（ *short wave* ）中，尤其是在超短波中，能進行發射的不僅是天線的垂直部分，還有處於其他位置的導線，例如水平導線。在後一種情況下，所發射出的電磁波的極化情形是電場永遠處於水平的方向。爲了接收無線電波，到來波的電場應當是沿著天線導線而作用（如果電場是垂直於導線，則不會在導線中產生電流）。由此可知，當天線導線的方向與所收平面極化波的電場方向相一致時，將是最爲有利的情況。所以在接收長波時，有利的永遠是

垂直導線（因爲這種波的電場永遠是垂直的），但超短波的電場則可能因爲發射天線位置不同而具有不同的狀況。

【極化劇變】（Polarization catastrophe）

在純淨電極化物質中，當趨於某溫度時，由極化而生之局部電場快速增強，其增強速度快過晶體中離子的彈性回復力，此時離子就發生不對稱的移動，因此產生鐵電性質。其介電常數趨於無限大，此時該物質中有自發極化出現。其簡單理論如下：如局部電場以

$$\vec{E}_{loc} = \vec{E} + \frac{4\pi}{3}\vec{P}$$

表之，式中$\vec{E}$爲巨觀電場強度，$\vec{P}$爲極化強度，克勞修士、毛色梯方程式（*Clausius-Mosotti equation*）就可寫成

$$\epsilon = \frac{1 + \frac{8\pi}{3}\sum_i N_i \alpha_i}{1 - \frac{4\pi}{3}\sum_i N_i \alpha_i}$$

式中 ϵ 爲介電常數，N_i 爲單位體積內 i 類離子的數目，α_i爲 i 類離子的極化率（包括電子及離子的極化率）。由介電常數的定義得知當

$$\sum_i N_i \alpha_i = \frac{3}{4\pi}$$

時，有限之極化值在外電場爲零時，會有趨於無限大的介電常數出現。

【極光】（Aurora）

極光又叫北極光，是來自上大氣層在相當高度的空間所發的散光。極光是一種雄偉瑰麗的天空現象，一般出現在地球南北極鄰近區域的高空。起初往往在高空顯出一個小而明亮的光點，它的光度越變越強，所以照明了黑夜，在極區黑暗的夜空，就被一些彩色的光弧所照亮。那些光弧有深綠色的、有橙黃色的、有淡紅色的，此外還有一束一束的閃動的光帶，這一列景象看起來活像一幅閃耀著的彩虹幕掛在天空，雖

怪人們看見極光出現，驚爲罕見的奇觀。

極光出現在空中有多遠呢？一般說來，極光的下邊高度，距離地面約爲 80 公里，有時也有高到 100 公里，但很少低於 80 公里的。它的上邊高度，可達 800公里，甚至 1,000 公里。在北極出現的極光，以三月及九月爲最多，一月和六月最少見。其實極光最活躍的地區，不是北極和南極，而是距離北極和南極十餘度的磁極區，所以這個地區叫做極光帶，加拿大北部、挪威北部以及西伯利亞的北海岸，都屬於這地區的範圍。

按照各種學說，極光似乎與磁暴（*magnetic storm*）及由太陽射出之帶電粒子有關。這些帶電粒子（主要是帶正電的氫原子核，其次是帶負電的電子）從太陽的活動面上發出，一部分射到地球上，當它們穿過上空的稀薄空氣的時候，激發了空氣中的各種氣體的原子和分子，使這些原子和分子發光而形成極光。

由太陽而來的帶電粒子是從太陽的“黑子”區放射出來的，因此太陽黑子的活動和極光有著密切的關係，黑子多的時候極光也多，黑子少的時候極光也少。太陽黑子從多到少，再從少到多的週期是十一年一個半月，極光也隨著每隔十一年一個半月出現得最多也最強。

又因太陽黑子所發出的帶電粒子，被南北磁極吸引的緣故，故而極光在南北極較多。發生在南極的稱南極光，發生在北極的稱北極光。另外，在發生磁暴時，極光亦較強。

此外，還有許多關於極光的推測，因爲從光譜的研究，說這是氣體，並且在分光鏡裏有一條特別的綠線。這是一種未經發現的氣體原質，大概和空氣中稀少原質氪很近似。費加特（*Vigard*）教授在實驗室中曾造出一種和極光相同的現象。先將空氣中含有巨量的氮冷卻到凝結成細晶體，溫度須在－227°C 。於是他用電子射線，衝擊這些晶體發出光來，用分光鏡看就有和極光在分光鏡裏所成的綠線。

【極向量】(Polar vector)

普通的向量是量的本身有一指向，稱之爲極向量。例如由$\vec{A}$點走向B點時的位移，必爲由A點指向B點，所以位移向量是一種極向量。此外速度、力、動量、加速度亦爲極向量之例。

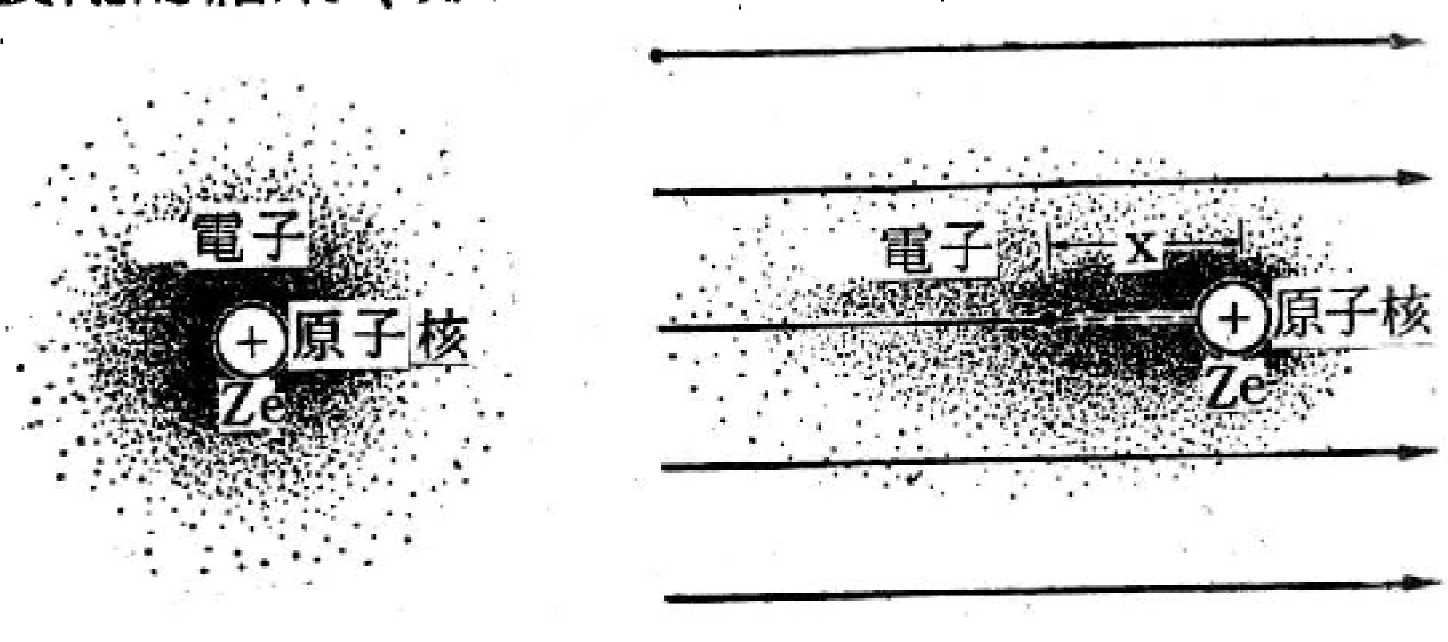
以列矩陣表示極向量，則變換至不同坐標系時

$$\vec{A}' = R\vec{A}$$

式中$\vec{R}$爲一正交矩陣。

【極性分子】(Polar molecular)

在原子中，由於它們的球形對稱性 (*spherical symmetry*)，電子的質量中心係與原子核重合 (如圖 13 — 68 (*a*))，因此原子沒有永久電偶極矩 (*permanent electric dipole moment*)。然而當原子被置放在一電場中時，原子遂被極化，而獲得一與電場同方向的感應電偶極矩 (*induced-electric dipole moment*)，此偶極矩乃是電子的運動受外施電場作用而產生擾亂的結果 (如圖 13 — 68 (*b*))。分子亦可獲得一與外電場同方向的感應電偶極矩。因此，若將一絕緣體放置在一電場中時，它的原子或分子就變爲指向外施電場方向的電偶極。



(a)無外施電場時　(b)有外施電場時

圖 13 — 68　原子在一外施電場中的極化

然而，許多分子有一永久的電偶極矩，這種分子稱爲極性分子。例如，在氯化氫 (HCl) 分子中 (如圖 13 — 69)，氫原子中的電子繞氯原子運動的次數較繞氫原子爲多，所以負電荷的中心並不與

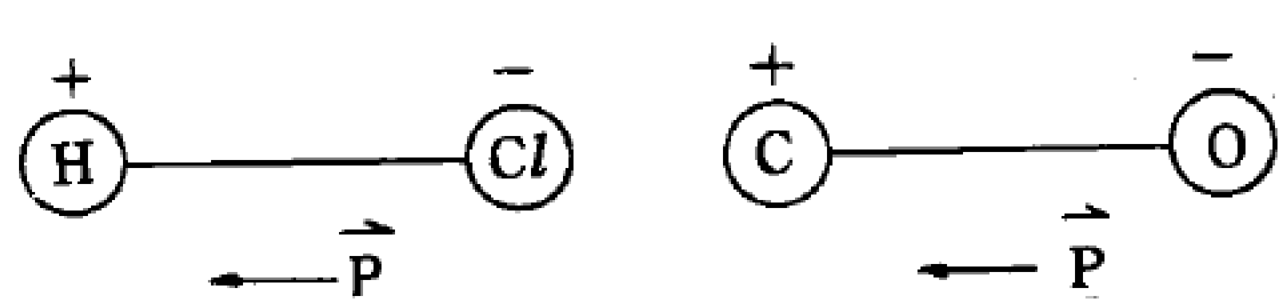


圖 13 — 69　極性雙原子之分子

正電荷的中心重合，並且此分子有一自氯原子指向氫原子的偶極矩，即此分子可以式H^+Cl^-表示之理，氯化氫的電偶極矩爲3.43×10^{-30}庫米。在一氧化碳（CO）分子中，電荷分佈僅有少許的不對稱，於是它的電偶極矩就相對的爲小，約爲0.4×10^{-30}庫米，在此分子中，碳原子相當於分子的正電荷端而氧原子相當於分子的負電荷端。

如H_2O的分子中，有兩個$H—O$鍵相交其交角略大於90°（如圖13—70），電子傾向擁集於氧原子之周圍，使氧原子端略負於氫原子端。故每一$H—O$鍵皆有助於電偶極矩，由於對稱的緣故，它們的合電偶極矩乃指向分子的軸線方向，其值爲6.2×10^{-30}庫米。但是在CO_2分子中，所有的原子均位於同一直線上（如圖13—71），並且由於對稱關係其合電偶極矩爲零。一些極性分子的電偶極矩的值示於下表中。

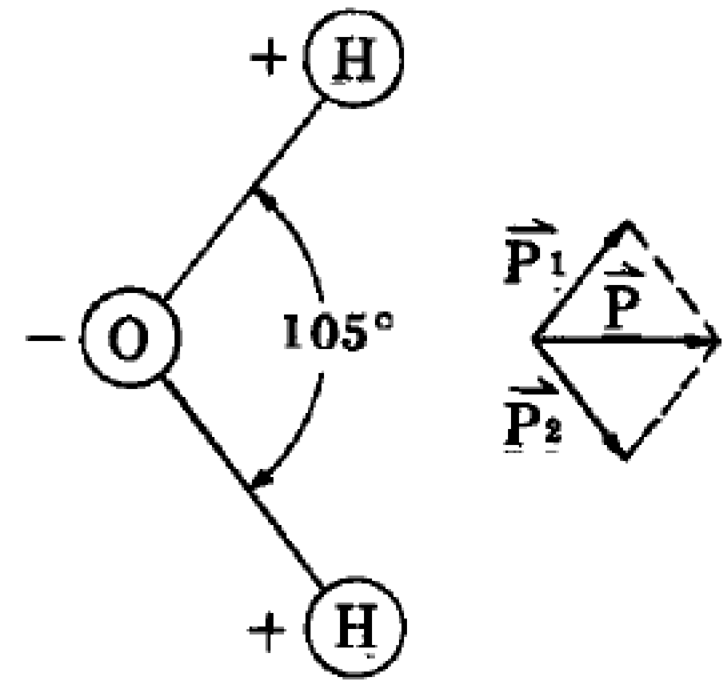


圖 13 — 70
H₂O分子的電偶極矩

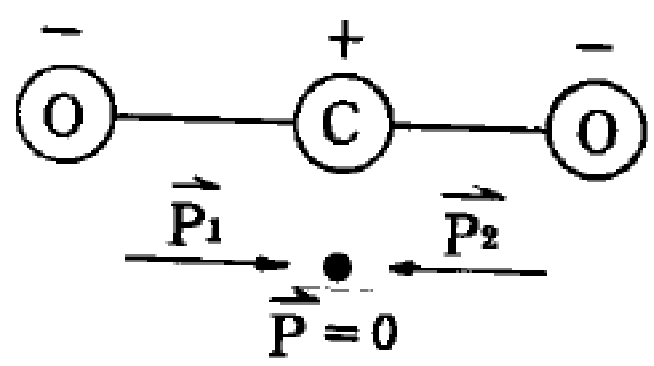


圖 13 — 71
CO_2 分子無電偶極矩

茲有一物質，它的分子爲極性分子，因此它

極性分子的電偶極矩

分　　子	p, Cm	分　　子	p, Cm
HCl	3.43×10^{-30}	H_2S	5.3×10^{-30}
HBr	2.60×10^{-30}	SO_2	5.3×10^{-30}
HI	1.26×10^{-30}	NH_3	5.0×10^{-30}
CO	0.40×10^{-30}	C_2H_5OH	3.66×10^{-30}
H_2O	6.2×10^{-30}		

【註】偶極矩爲零的分子包含：CO_2、H_2、CH_4（甲烷）、C_2H_6（乙烷）以及CCl_4（四氯化碳）。

們具有永久性的電偶極矩，在無外電場的作用情況下，這些電偶極矩的排列凌亂，而觀察不到巨觀的或集合的偶極矩（如圖 13 — 72(*a*)）。然而，當施一靜電場時，此電場即有使一切電偶極指向電場方向的傾向，在毫無任何分子交互作用的情況下，所有電偶極的排列將完全一致的指向同一方向（如圖 13 — 72(*b*)）；但是分子的碰撞有驅使電偶極的排列趨於凌亂的傾向。不過由於外施電場的作用，這種排列並不完全凌亂，乃因電場對排列的影響勝過造成凌亂的影響之故（如圖 13 — 72(*c*)），所以平均來說，分子係指向電場方向的。

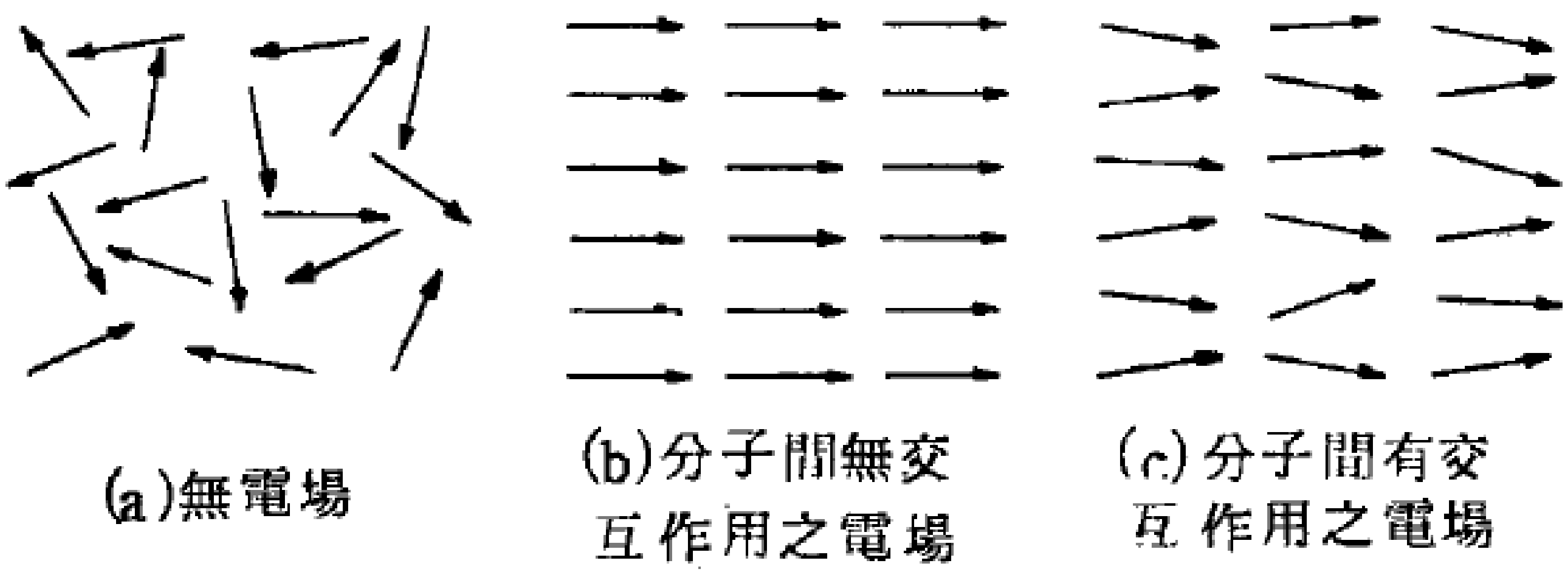


圖 13 — 72　在電場中電偶極子的方位

【極限負荷】（Full limiting load）

負荷之最高限度。

【極限強度】（Ultimate strength）

物體受外力的作用，超過彈性限度時，起了極大的應變；如果外力繼續增加不已，物體終必至於破斷。這個物體破斷時所需最小限度的力，稱為極限強度。物質的極限強度亦隨其性質而不同。鋼鐵較大，故不易斷；甎瓦極小，故易破碎。又此極限強度，對張力與壓力言，則分別稱為抗張強度（*tensile strength*）與抗壓強度（*compressive strength*）。

【極限速度】（Limiting velocity）

即終端速度。

參閱“終端速度（*Terminal velocity*）”條。

【極軸】（Polar axis）

想像中從地球北極到南極之間的一根連線，地球卽繞此軸旋轉。

【極間電容】(Interelectrode capacity)

卽電子管內各個電極間的電容。極間電容對設計電子管電路而言，是一非常重要的因素。已知在電子管的極間均有電場存在，如屏極與陰極間、屏極與柵極間、柵極與陰極間。由基本電學得知，任何帶有不同電荷的兩金屬板間，必有電場存在，此時的兩金屬板就相當一電容器 (*electrical condenser*) 。在任何兩個被介質隔離的金屬片間，均有電容的作用，其所能容的量，與金屬片間的距離、面積大小及介質的種類等都有關係。因此在電子管的各極之間，也有電容作用，並且與極間距離、大小及介質種類相關聯。

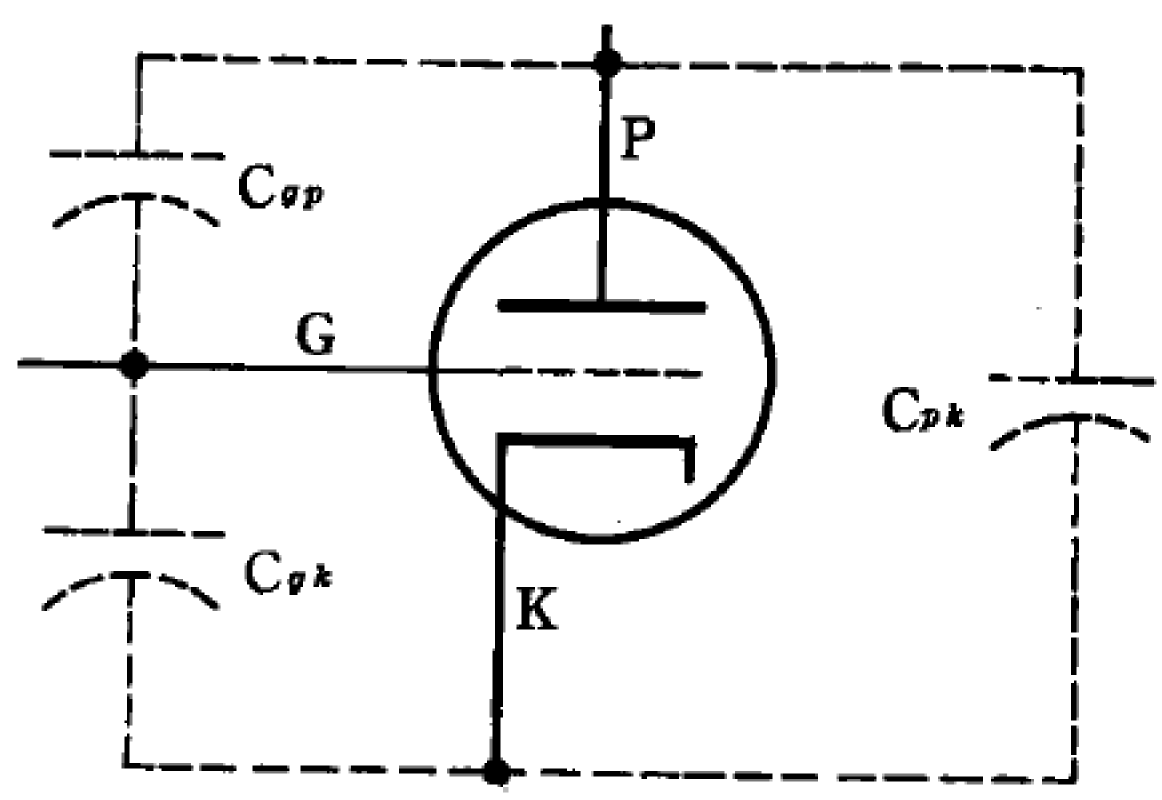


圖 13 — 73
三極管的極間電容

三極管的極間電容，示於圖 13 — 73。柵極與陰極間電容以 C_{gk} 表示，屏極與柵極間電容以 C_{gp} 表示，屏極與陰極間則以 C_{pk} 表示。而電容值均約在 2 到 10 微微法 ($\mu\mu f$) 之間，1 微微法 $= 1/10^{12}$ 法。這些電容在高頻率電波時，所形成的電抗 (*reactance*) 將變得很小，因此導至不必要的耦合效應。尤其是 C_{gp} ，能使屏極電路的輸出能量，回送到柵極線路，造成放大器的不穩定和振盪 (*oscillation*) 。一般來說，這種能量回送的性質是不受歡迎的，但有時也需利用此特性，使某些電路產生振盪作用。

為了減小極間之電容，可加隔離極於管中，此種已加隔離極的電子管稱為多極管(*multi-electrode tube*) 。特別是用於超高頻率 (*ultra high frequency* ; *U.H.F.*) 的雷達 (*radar*) ，以及相類似的電路中，電子管的極間電容成為不能容忍的事。一般低頻率用的三極管，因

其極間電容在高頻率時太大，所以不能用於雷達等高頻率裝置中。

【極距離】(Polar distance)

一星在時圈上距兩極之弧度，謂之極距離。通常皆自北極起算至180°止。極距離與時角、赤緯度、地平經度等之關係表極距離之弧在天球上屬天赤道系。

參閱"天文三角形(*Astronomical triangle*)"條。

【極隧射線】(Canal ray)

在眞空管內由陰極板上所鑽的隧道或孔洞逸出的射線，由正電粒子構成。這些正電粒子係陰極附近的氣體因電子的游離而生成，受電場加速而以高速射向陰極。通常這些粒子將撞擊在陰極上而使陰極金屬板的表面解離，且因此而放出陰極射線電子束。若在陰極上特別鑽有孔道，使這些正粒子得以進入其中，則有部分射線可到達陰極後面的空間。特製的極隧射線管中，該處空間特別加長，俾使極隧射線由陰極射線中分出而可單獨研究。

【楊、米爾斯場】(Yang-Mills fields)

1954 年楊振寧和米爾斯共同提出的一種量子場論的模型。在這種模型中，一種粒子的場 ϕ 和另一種向量場 A_μ 相耦合，在拉格朗函數(*Lagrangian*)中其耦合爲 $(\partial/\partial x_\mu - ieA^\mu)\phi(x)$，而且拉格朗函數對下列轉換不變：

$$\phi \rightarrow \phi e^{ie\chi(x)} \qquad A_\mu \rightarrow A_\mu + \frac{\partial}{\partial x^\mu}\chi(x)$$

式中 χ 是任意實函數，x 是位置四向量，e 是粒子本身的量子數，在這模型中此量子數應守恆。電子和電磁場的耦合是場。米爾斯模型的一例，並可解釋電荷守恆律及最小電磁耦合。楊、米爾斯理論認爲每種量子數守恆律均與一向量場對應，應用到強交互作用中，此向量場量子化後應有一向量介子存在。在原來的楊、米爾斯理論中的向量粒子質量爲零

，經許多人修改後向量粒子的質量不需爲零。

【楊氏介子衰變定理】（Yang theorem on meson decay）

1950 年楊振寧證明自旋爲1的介子絕對不能衰變爲兩個光子。

【楊氏角分佈定理】（Yang theorem on angular distribution）

1948 年楊振寧證明若入射波中只有軌道角動量爲L的分波對反應特別重要，即可略去其他分波，則散射波在質心系統中的角分佈必是$cos\theta$（θ爲散射角）的偶數次多項式，其最高次項的次數不超過$2L$。

【楊格】（Thomas Young 1773—1829）

楊格出生於英國世家，十四歲時已通拉丁文、希臘文、法文、義大利文、希伯來文、阿拉伯文及波斯文。後在倫敦、愛丁堡及哥丁根各大學習醫，1796 年獲哥丁根大學博士學位，1797 年入劍橋大學，1799 年在倫敦開業行醫。1801 年任皇家研究院物理學教授，二年中講演達 91 種之多，1803 年退職，任皇家學會外國文秘書。

楊格以研究物理光學著名，寫就有關聲光實驗綱要之精闢論文，迅即發現及表演光的干涉現象，即楊格干涉實驗。還有彈性學中的楊格係數，亦由他而得名。1793 年說明眼的調節作用。1801 年說明眼的像散缺陷，又發表他的假說，認爲網膜上有三種神經存在，一接受紅色光，一接受綠色光，一接受紫色光，是爲我們對於色感的說明，後來更經赫爾姆霍茲爲之發展。在生理學方面，對血液亦有研究，1808 年作"心臟與血管的功能"的專題演講。由於語言天才，對埃及楔形文字的闡釋貢獻極大。於 1829 年五月十日在倫敦逝世。

【楊格干涉實驗】（Young's interference experiment）

楊格於 1801 年設法穩定兩光源之相位差，首次做出可見光之干涉實驗，並由此求出可見波之波長。其法如圖 13—74所示，使日光（白

光）通過一擋板上之小孔使成單一光源，再使此單一光源射到另一擋板，此板上有兩相隔甚近之小孔，且各與單光源等距離，則此兩同相位之兩光源，必在一幕上形成可見干涉紋型。因爲通過第二擋板上兩小孔之光因係來自同一光源，故其波長絕對相等，且維持一定相位關係（一般均維持同相），因而能在幕上形成可見而不左右移動之干涉紋型。

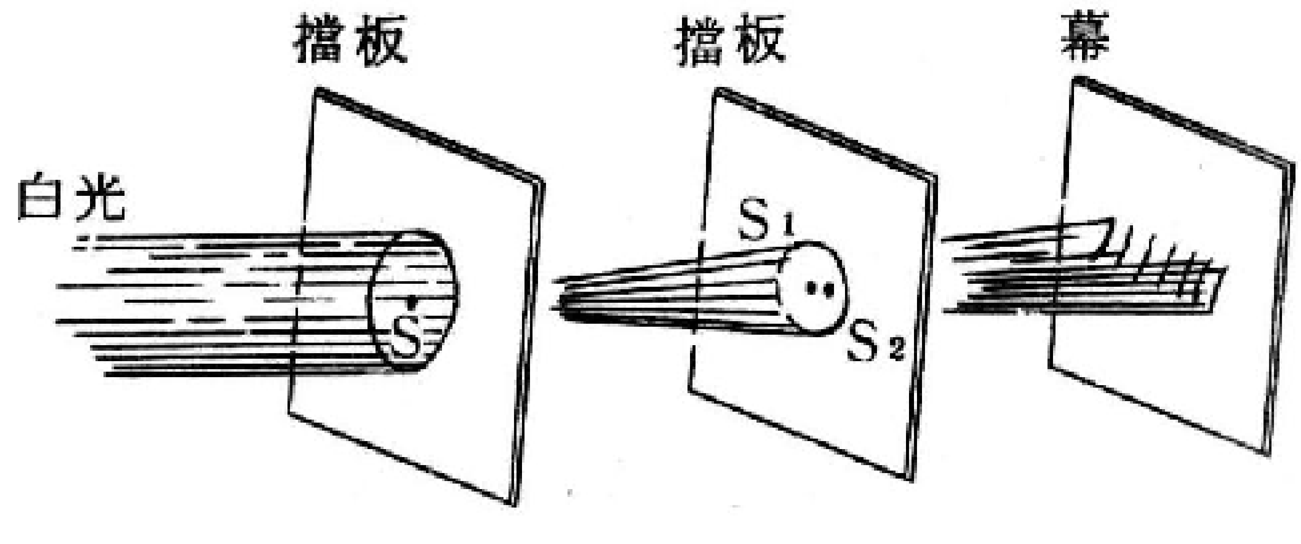


圖 13 — 74

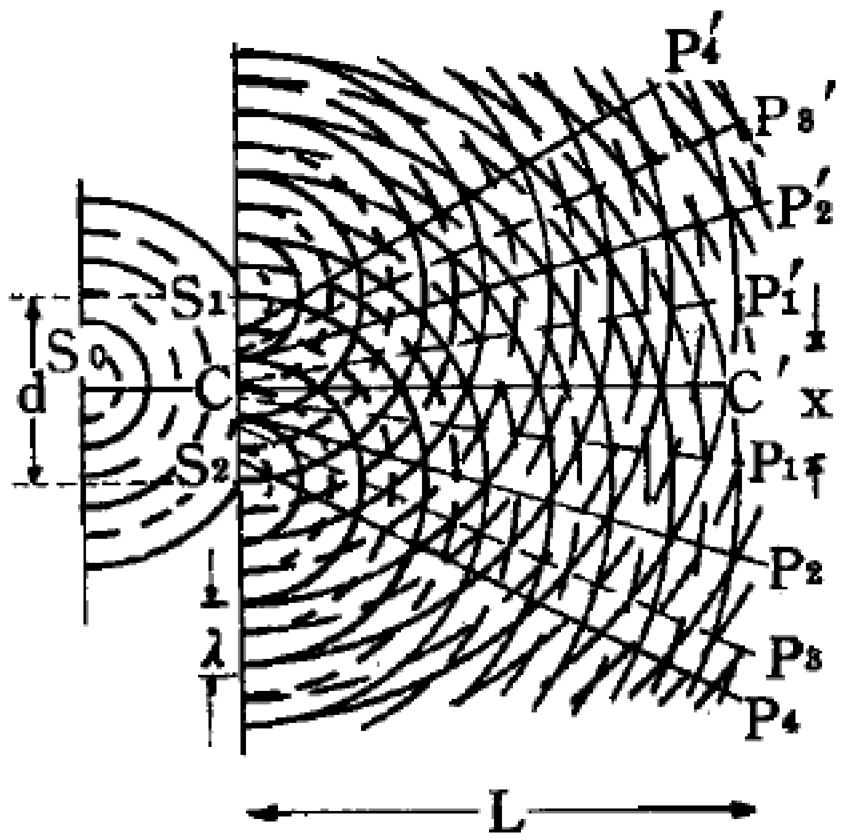


圖 13 — 75

若 x 爲幕上某一明（或暗）條紋與中點 C' 之距離， L 爲屏與幕間的距離， d 爲二針孔 S_1, S_2 間之距離（通常小於 1 mm ）， λ 爲 S_0 光源及副光源 S_1 ， S_2 所發出的波長。則由圖 13 — 75所示（實線表波峯，虛線表波谷）知，自圖內任一亮點（即二波峯或波谷相重之點）至 S_1 與 S_2 的光程差必爲波長（ λ ）的整數倍。自圖內任一暗點（即波峯與波谷相重之點）至 S_1 與 S_2 的光程差必爲半波長 $\frac{\lambda}{2}$ 的整數倍。所以自圖 13 —76 知任一明或暗點至光源 S_1 ， S_2 間之光程差（ S_2A ）必爲 $\frac{n\lambda}{2}$ （其中 n 爲正整數）。因爲 $S_1A \perp S_2P$ ，而 $L > d$ 甚多。所以也可視 $S_1A \perp CP$ ，又 $S_1S_2 \perp CC'$ ，所以 $\theta = \theta'$ 。今

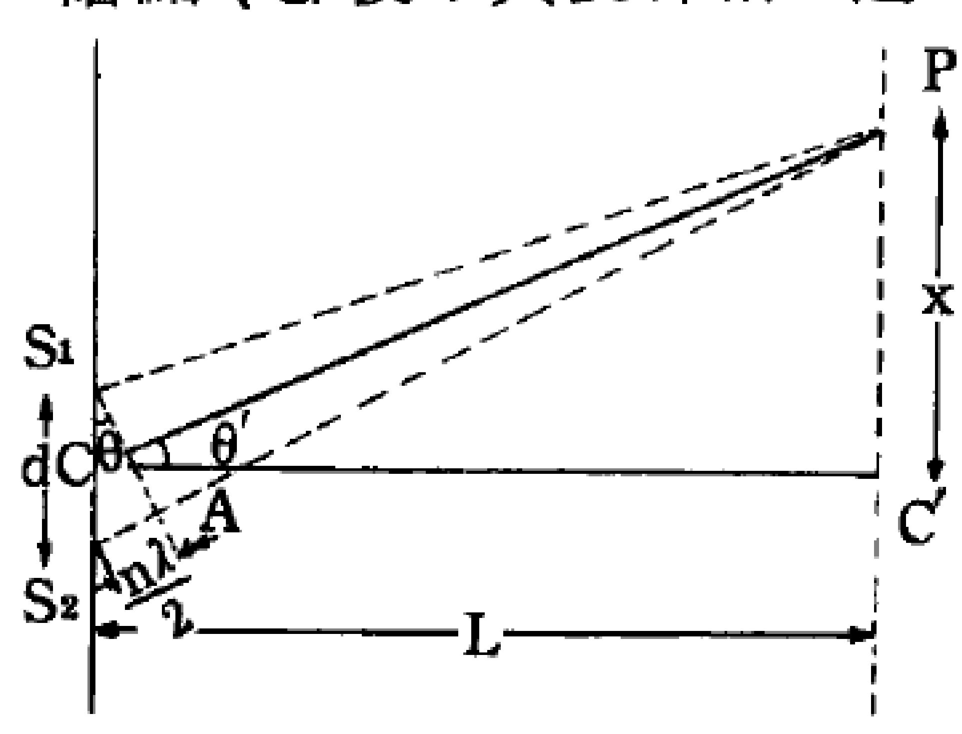


圖 13 — 76

$$\left.\begin{aligned} sin\theta &= \frac{S_2A}{S_1S_2} = \frac{\frac{n\lambda}{2}}{d} = \frac{n\lambda}{2d} \\ sin\theta' &= \frac{PC'}{CP} = \frac{x}{CP} \fallingdotseq \frac{x}{L} \end{aligned}\right\} \therefore \frac{n\lambda}{2d} = \frac{x}{L}$$

故 $$x = \frac{n\lambda L}{2d}$$

由此可知某明（或暗）條紋與中點C'的距離與光之波長及屏、幕距成正比，與二針孔（或狹縫 S_1, S_2）間的距離成反比。依此公式可計算某光波波長的近似值。式內 n 爲奇數時，P 處爲暗紋；n 爲偶數時，P 處爲明紋。

法人夫果涅爾（*Fresnel*）據此實驗予以改進，先後提出 1816 年的雙平面鏡實驗及 1826 年的雙稜鏡實驗。今日之實驗已改用一線狀強光源，如一長燈絲白熾燈作單一光源。並且用相隔約$\frac{1}{10}$毫米之兩平行於線狀光源之狹縫取代兩小孔，在幕上形成各色之明暗相間之干涉紋型，各明暗條且與光源及狹縫平行。若置一照相底板於幕處即可攝取其干涉紋型。

【楊格係數】（Young's modulus）

$$Y = \frac{FL}{A\Delta L}$$

式中F是使物體延伸的力，L是物體的長，ΔL 是長度的改變。在各向同性的固體中，楊格係數爲

$$E = \frac{9\mu B}{\mu + 3B}$$

式中μ是切變係數，B是容積係數。

【楊振寧】（Yang Chen Ning 1922- ）

民國十一年九月廿二日出生於安徽省合肥縣。父親楊武之是當年國

立西南聯合大學數學教授，自幼家學淵源。抗戰期間在昆明西南聯大求學，獲碩士學位，深爲吳大猷博士所讚賞。後獲庚子賠款獎金赴美進修，決心追隨名師費米，先赴哥倫比亞大學，聞費米已離去，又趕往芝加哥大學，廿六歲獲博士學位，論文由特勒（*Edward Teller*，後被尊稱爲氫彈之父）博士指導。在芝大時和費米共同提出費米、楊模型以解釋介子的性質。畢業後次年赴普林斯敦高等研究所研究，深受所長歐本海默（*Robert Oppenheimer*，原子彈之父）器重，由於距哥倫比亞大學很近，和李政道經常見面討論，兩氏對基本粒子和統計力學貢獻很大，1956 年夏共同發現弱作用中宇稱性不守恆，次年四月同獲愛因斯坦物理獎，十月同獲諾貝爾物理獎。自 1969 年起轉往紐約州立大學石溪分部（*State University of New York, Stony Brook*）主持愛因斯坦講座迄今。

【楞次】（Heinrich Friedrich Emil Lenz 1804—1865）

1804 年二月十二日生於俄國多帕特（*Dorpat*），最初攻讀神學，後轉習物理學。1834 年任聖彼得堡大學（後名列寧格勒大學）教授，俄國科學院院士。1834 年發表楞次定律，說明感應電流的方向。1835—1838 年又作成電阻、溫度關係的公式。1865年二月十四日在羅馬逝世。

【楞次定律】（Lenz's law）

導線在磁場運動時，由導線上應電流的磁效應所形成的另一磁場作用，在反抗導線與原有磁場間的相對運動。即應電流的方向爲阻止磁場變化的方向。根據安培定則，可確定應電流的方向，食指表磁力線，中指即應電流之方向。其數學式子爲

$$\varepsilon = \frac{d\Phi_B}{dt}$$

楞次（*Heinrich Friedrich Emil Lenz*）在1834年推得此定律。法拉

第定律中的負號卽表示這種相反性質。在力學中常藉能量原理而獲致關於力學系統的結論而無須予以詳盡的分析，此處亦可用相同方法。

楞次定律論及感應電流，僅適用於通路。若爲斷路，則常可設想若爲通路時的情形，並以此法求其感應電動勢的方向。

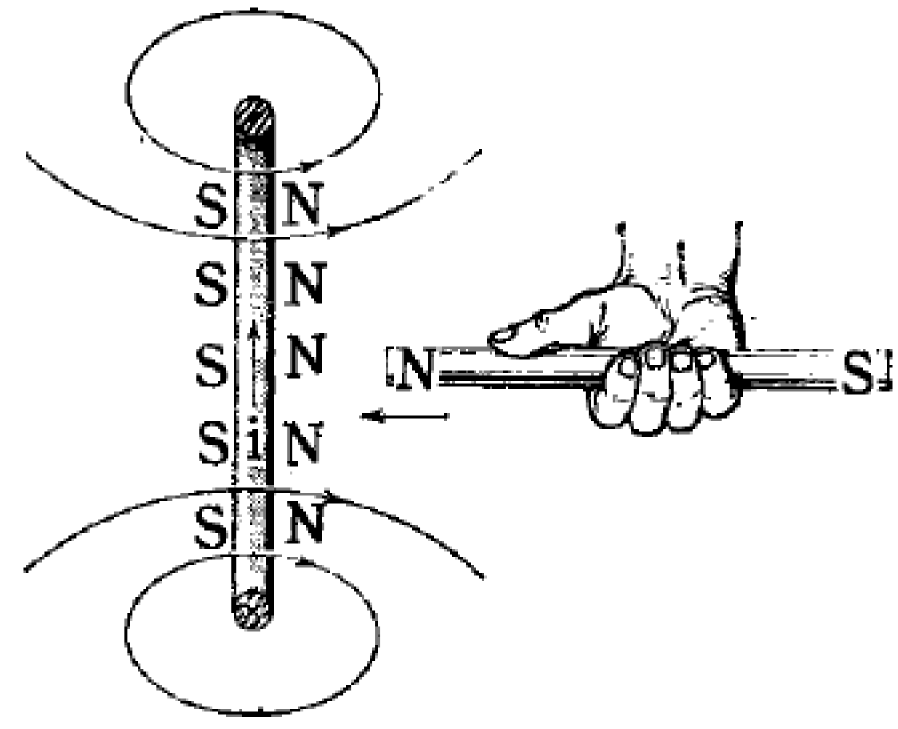


圖 13—77
若磁鐵移向廻路，感應電流的方向如圖所示，產生磁場以阻止磁鐵的運動

圖 13—77 示一磁鐵的北極及其附近一導電廻路的截面，將磁鐵向該廻路推動，廻路上生感應電流。一電流廻路在遠處所生磁場與磁雙極所生磁場相似，廻路的一面爲北極，反面爲南極。和磁棒相同，其北極卽磁力線出發的面。依照楞次定律，若圖 13—77 之廻路阻止磁鐵向其移動，則圈線向著磁鐵的面必變爲北極，磁鐵與電流廻路的二北極互相排斥。右手定則指出當廻路所生磁場由其右面發出時感應電流應如圖示，沿磁鐵方向朝廻路看去電流爲反時針方向。

將磁鐵推向廻路（或將廻路推向磁鐵）時出現感應電流，依照楞次定律，此推動乃是改變而產生感應電流，且感應電流將反對此推動。若拉動磁鐵離開線圈，感應電流將在圖 13—77之廻路的右面生一南極以反對此拉動。欲使右面爲南極，電流需與圖 13—77所示者相反。不論推或拉動磁鐵，其運動恆將受阻。

使磁鐵移向或離開線圈的外物恆受阻力，因此需作功。由能量守恆原理此功對系統而作，應恰等於線圈內所生之焦耳能，因爲該系統中僅有這兩種能量轉換情形發生。若移動磁鐵愈速，應作功的速率愈快，則焦耳能的產生率亦應隨之增加。若截斷廻路再作此實驗，則無感應電流，無焦耳能，無力作用於磁鐵，移動磁鐵不需作功。廻路上仍有電動勢，但像電池與斷路相連的情形一樣，此時不產生電流。

若圖 13—77中電流在圖示之相反方向，廻路對著磁鐵的面爲南極，則將拉動磁鐵靠向廻路，因此只需輕微推動磁鐵以啓動此過程，此行動即將自行持續不停。磁鐵將向廻路加速，不斷增加其動能，同時環內產生焦耳能的速率亦與時俱增，這實爲無中生有之事，毫無疑問當不致發生。

今以另一方法應用楞次定律於圖 13—77。圖 13—78示磁棒之磁力線，改變係將磁鐵移近時使廻路內的Φ_B增加，感應電流阻止這種改變，卽產生磁場以阻止因移動磁鐵而增加的磁通量。因此感應電流所生的磁場應由左通過線圈而向右，與先前所獲結論相符。

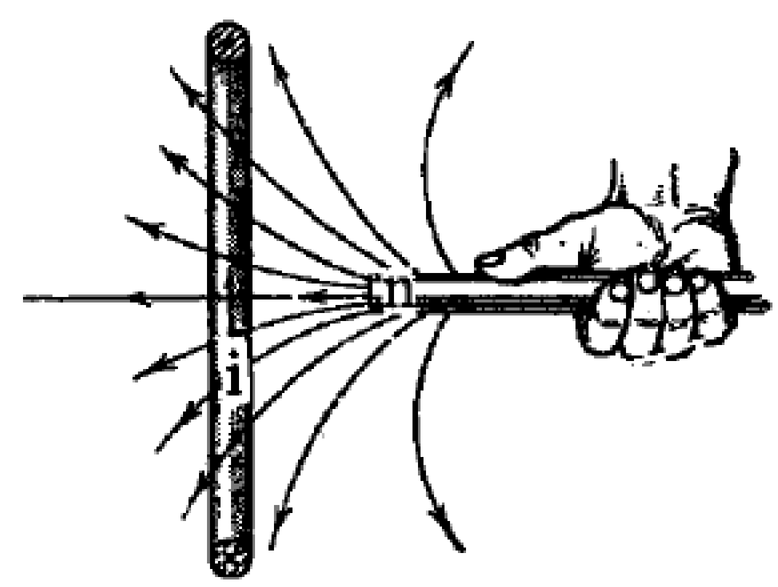


圖 13—78
將磁鐵移向廻路，通過廻路之Φ_B增加。

感應磁場與磁鐵的磁場相反並無意義，有意義的是其反對改變，在本例中的改變爲通過廻路中Φ_P的增加。若拉出磁鐵卽減少通過廻路的Φ_B，感應磁場將加強磁場以阻止Φ_B的減少（卽改變）。在每種情形中感應磁場均阻止產生此感應的改變。

【業餘波長】（Amateur wavelength）

短波波帶內的某些區帶，短波業餘無線電愛好者有權在這些區帶內相互進行通信。

根據國際無線電通信會議的決議，短波業餘無線電愛好者可以利用 300,000KHz以上一切頻率外，以下各頻帶均可使用：

1,800～1,825 KHz

1,875～1,900 KHz

1,900～1,925 KHz

1,975～2,000 KHz

3,500～4,000 KHz

7,000～7,300 KHz

14,000～14,400 KHz

28,000～29,700 KHz

50,000～54,000 KHz

144,000～148,000 KHz

【業餘頻帶】(Amateur band)

國際公定超過 300,000 KHz 以上之頻率，業餘家可以隨便使用。

【歲差】(Precession)

天文學名詞，春分秋分二點（卽黃道與赤道之交點）並非一成不變，每年沿黃道向西退行約 50.2″約 25,800 年廻轉一週，此現象稱爲歲差。

【毀滅】(Annihilation)

正電子與電子碰撞時，兩電子的質量變換成輻射能，因而本身消失，並產生二個光子的現象，稱之爲毀滅，又稱爲成對毀滅（ *pair annihilation* ）。所產生光子的能量爲 0.51 MeV（波長爲 0.023 Å ），其逆反應稱之爲成對產生（ *pair production* ）。

參閱“反粒子（ *Anti-particle* ）”條。

【毀滅輻射】(Annihilation radiation)

毀滅輻射的產生是由於正子與電子的交互作用。依照愛因斯坦的質能關係式，正子與電子的質量應完全轉變爲輻射能。雖然如此，電磁輻射與物質的交互作用機構，僅與輻射能有關，而與其來源無關。這些重要的因素，在設計屏蔽時應格外銘記。

【溶液之沸點】(Boiling point of solution)

溶液中溶劑沸騰時之溫度爲溶液之沸點。

【溶液之凝固點】(Freezing point of solution)

在溶液中，水開始凝固之溫度常名爲溶液之凝固點。

【溶解熱】(Heat of solution)

一克分子之被溶質完全溶化於多量之水中時，其所吸收或放出之最大熱量之值，稱爲其溶解熱。水之溶解熱爲 1,435 卡摩爾$^{-1}$ 。

【源料】(Source material)

原子能法上規定：除了特種核材料外，任何包含 0.05％ 以上的鈾、釷或兩者之混合的材料都稱爲源料。

參閱“執照物料 (*Licensed material*) ”條。

【源像法】(Method of image)

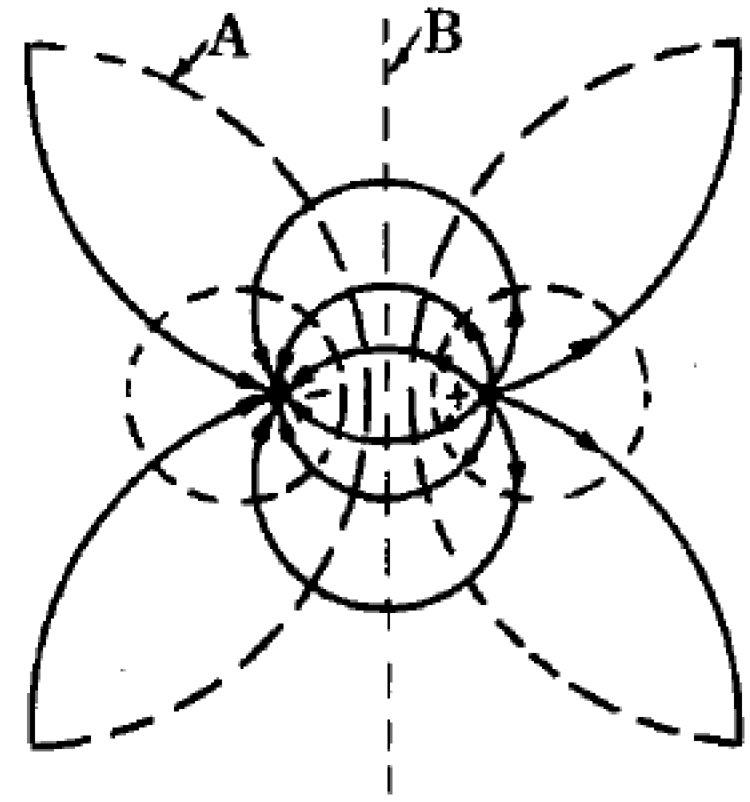


圖 13 — 79
一對正負電荷的場線及等位面

圖 13 — 79顯示一對正負電荷所產生電場的場線及等位面。假設一導體，其表面的形狀與等位面爲完全相同，如將這一導體放在等位面 A 的位置，拿走 $-q$ 電荷，並將此導體的電位調節到等位面 A 的電位 ϕ_A ， 則導體與 $+q$ 電荷所產生的電場將完全和原來的正負電荷對所產生的在等位面 A 外的電場相同，如圖 13 — 80 。這一結論也可以用拉普拉斯方程式 (*Laplace equation*) 解的單一性證明。設想 $+q$ 點電荷爲一帶 $+q$ 電荷的小金屬球的極限情形。現在導體的電位爲已知，這一無限小的金屬球的總電荷亦爲已知，故這一問題的邊界條件爲混合的邊界條件。現在這一對正負電荷的電位函數 ϕ ，除了在 $\pm q$ 點外都可滿足拉普拉斯方程式，並且也適合代替等位面的導體的邊界條件，故如圖 13 — 80之情形的唯一的解，即導體外的空間內的電場與正負電荷對的電場一樣。

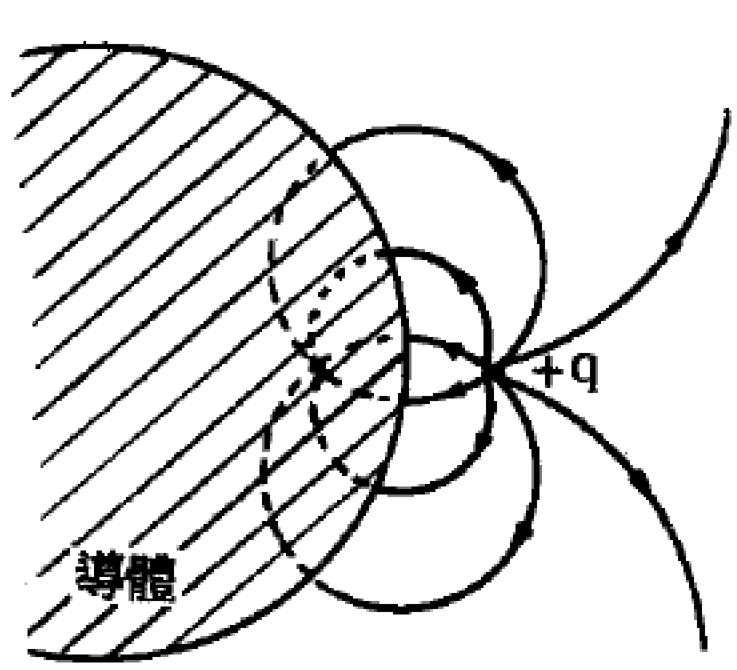


圖 13 — 80
一與圖 13 — 79 的等位面A的形狀相同的導體外的電場

因爲等位面 A 上每一點的電場剛好與導體表面上每一點的電場相同，故由高斯定律 (

Gauss' law ）可知導體所帶的總電荷爲－q。這一總電荷連續地分佈在導體的表面上，而並不集中在某一點，但是，在計算導體外空間內的電場時，我們可假想這一總電荷集中在如圖13—80所示虛線的交點上，而導體外的電場便可用這一假想的正負電荷對所產生的電場來代替。我們叫這一在導體內被假想存在的電荷爲＋q對此導體的像電荷（*image charge*）。這種解靜電學問題的方法常被稱爲源像法。因爲導體內無電場存在，故用源像法解問題時只有導體外的空間內的電場是我們所要的。

【源頭和尾閭】（Source and sink）

流體由一點湧出時，稱該點爲源頭（*source*）；流體被一點吸去時，稱該點爲尾閭（*sink*）。又在單位時間內湧出或吸去的流體質量（或體積），分別稱爲源頭強度或尾閭強度。若在不可壓縮流體中一點O有強度Q的源頭，則在包圍O的封閉面素S，對速度$\vec{v}$的外向法線方向分量v_n積分，即可得Q，即$\int_S v_n\,dS = Q$。在被隔離的源頭附近，流動的速度位Φ的主要部分爲$\Phi = -\frac{Q}{4\pi}\frac{1}{r}$，其速度$V$爲$\nabla\Phi = \frac{Q}{4\pi}\frac{\vec{r}}{r^3}$（$\vec{r}$爲以源頭爲原點的位置向量，$r$爲其大小）。在源頭爲連續分佈的流動場中，由包圍$S$的區域$V$湧出的量等於$\int_S v_n\,dS = \int_v \nabla\cdot\vec{v}\,dv$。所以$\nabla\cdot\vec{v}$即爲單位體積的源頭強度。不只對流體流動場，對任何向量場，將源頭定義如上，則方便得多。例如，電荷爲電場的源頭，質量爲萬有引力的源頭。又源頭和尾閭不存在的場，即$\nabla\cdot\vec{v} = 0$的場有時稱爲螺線管場（*solenoid field*）。

【滑尺式度盤】（Slide-rule dial）

指接收機調節用之度盤。

【滑接】（Slide contact）

接觸點可以利用滑臂隨時移動或改變。

【滑脫】(Slip)

是一種塑性形變 (*plastic deformation*)。例如當晶體的一部分在另一部分上滑動一段距離時，這種兩部分的整體相對滑動，稱爲滑脫。滑動發生的表面稱爲滑脫平面，滑動的方向稱爲滑脫方向。

【滑動度盤】(Sliding dial)

收音機上之直線度數盤。

【滑動摩擦】(Sliding friction)

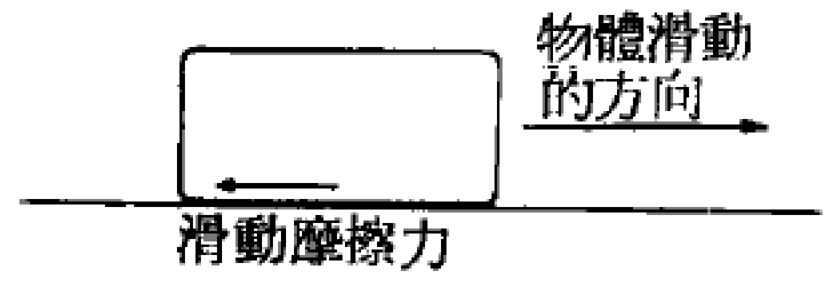


圖 13 — 81

在某物體表面上，另一物體不作轉動而滑動時，在與加於後者的外力相反的方向產生的阻力稱爲滑動摩擦力 (如圖 13 — 81)。對滑動摩擦，摩擦定律可成立。

同種金屬間的滑動摩擦通常比異種金屬間的摩擦大。

【滑動摩擦定律】(Sliding friction law)

兩物體間之最大靜摩擦大於動摩擦；滑動摩擦大於滾動摩擦。且兩接觸面間之最大靜摩擦及動摩擦都與兩接觸面之垂直總壓力 (*normal pressure*)成正比。二者之比，稱爲摩擦係數 (*coefficient of friction*)。設 f 表摩擦力，N 表垂直總壓力，μ 表摩擦係數。則

$$f = \mu N \quad 或 \quad \mu = \frac{f}{N}$$

靜摩擦與動摩擦，亦合稱爲滑動摩擦。摩擦係數，係由實驗求得，靜摩擦係數約爲動摩擦係數的2.5至5倍。溫度變化對摩擦係數略有影響。對一靜物施力而不足使此物移動或滾動時 (施力或施力矩不大於最大靜摩擦)；或對一運動中之物體施力，並不影響其作等速度運動時 (即一物受力作用而加速度＝0時)，其摩擦均與施力大小相等，方向相反。

【滑動摩擦係數】(Sliding friction coefficient)

物體滑動時 $\qquad f = \mu N$

式中f爲摩擦力，N爲垂直總壓力，μ即爲滑動摩擦係數。

【滑階】(Slip step)

晶體變形時起滑動之差排，若滑至晶粒表面，就形成滑階。

【滑輪】(Pulley)

圓板中央貫一軸，將其周圍鑿成溝紋，掛以繩而使之廻轉之裝置，謂之滑輪。滑輪與槓桿同理，亦有力、支、重三點，分爲定滑輪及動滑輪二種。定滑輪雖不能改變力的大小，但可以改變力的方向；而用一個動滑輪時，支持物體的力只要$\frac{1}{2}$就可以。因此利用定滑輪與動滑輪的配合，可以改變力的大小或方向。

【滑輪組】(Block and tackle)

用動滑輪能省力，用定滑輪則能改變力的方向，把幾個動滑輪和定滑輪搭配合併而成滑輪組，可以適當地改變力的大小或方向。

如圖13—82(a)，利用動滑輪把力減爲1/2，利用定滑輪改變力的方向。圖(b)是各用二個動滑輪與定滑輪相配而成，因繩子只有一條，繩子上各部分的張力均相同。因此，相當於用四條繩子來支持動滑輪與物體的重量W，故$F=\frac{1}{4}W$。圖(c)中每個動滑輪可省$\frac{1}{2}$的力。拉上動滑輪A的力爲$\frac{1}{2}W$，其次拉上B的力爲$\frac{1}{2}W\times\frac{1}{2}=\frac{1}{4}W$，再是拉上$C$的力爲$\frac{1}{4}W\times\frac{1}{2}=\frac{1}{8}W$，故$F=\frac{1}{8}W$。若滑輪愈多，則力愈省。

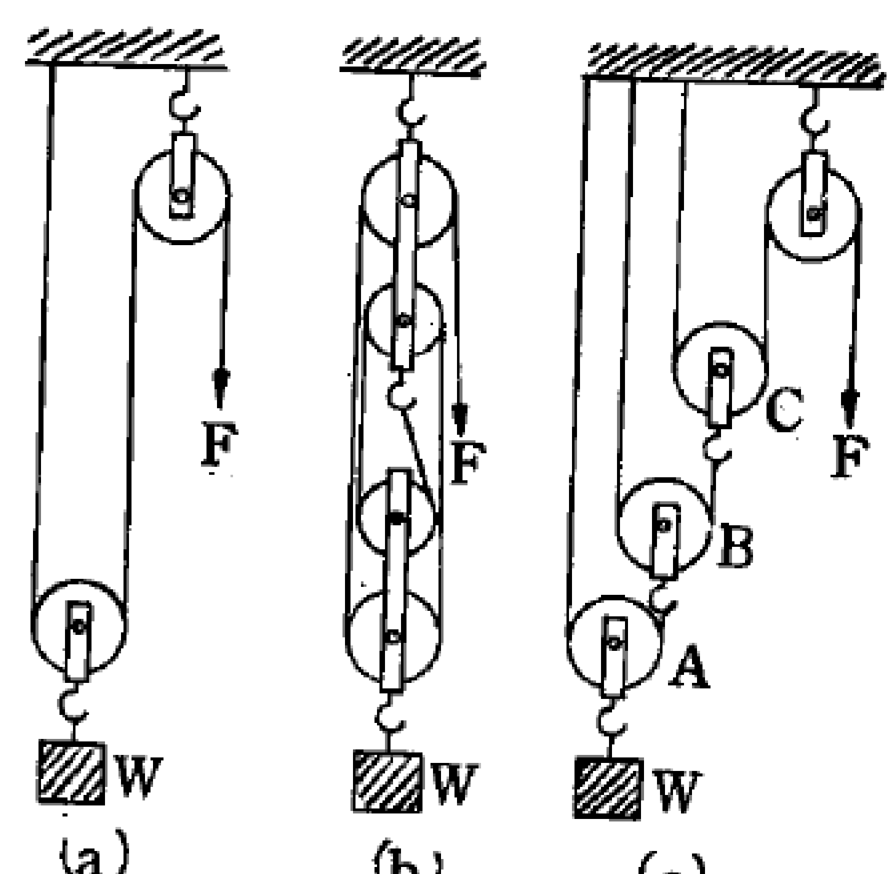


圖13—82　滑輪組

定滑輪又可改裝（如圖13—83），因$T_1=2T_2$，$T_2=2T_3$，$T_3=2T_4$，…………，$T_n=E$

$$D = T_2 + T_3 + T_4 + \cdots$$
$$= 2T_3 + 2T_4 + \cdots + T_n$$
$$= E + 2E + 4E + \cdots\cdots$$
$$= E\,(\,1 + 2 + 4 + \cdots\,)$$
$$= \frac{E\,(\,2^n - 1\,)}{2 - 1} = E\,(2^n - 1)$$

故　　$A = 2^n - 1$

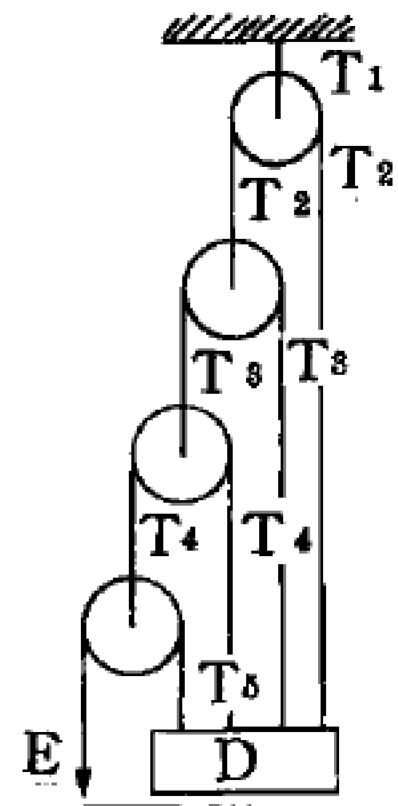


圖13—83

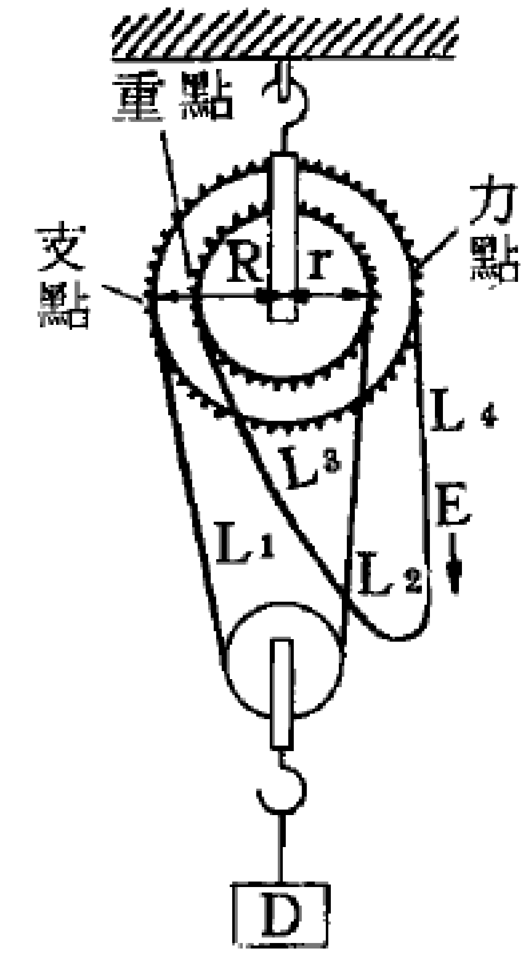


圖13—84

比較特殊的是差動滑輪（*differential pulley*），即鏈式升降機（*chain boist*），多於工廠中用以擧重；設R爲大輪半徑，r爲軸心之小輪半徑（R與r相差不多），則

$$E \cdot 2R = D\,(\,R - r\,)$$

故
$$A = \frac{D}{E} = \frac{2R}{R - r}$$

若E拉L_4使上方較大齒輪轉一θ弧，則L_4下降$R\theta$單位之長，L_1則上升一同長；L_2下降一$r_2\theta$之距離，L_3上升一同長。由此知$S_e = R\theta$

$$S_d = \frac{R\theta - r\theta}{2}\left(= \frac{L_1 + (-L_2)}{2}\right)$$

故
$$A = \frac{R\theta}{\frac{(R - r)\theta}{2}} = \frac{2R}{R - r}$$

【滑線式可變電感線圈】（Coil with sliding contact）

這種線圈應用於電感需要相當均勻變化的場合裏。線圈係經過滑動觸點而接入於電路，滑動觸點沿著圈匝移動，由此改變著線圈接入於電路的匝數，同時也就改變了電路的電感。因爲接入於電路內的線圈匝數可以是一匝一匝地改變，所以電感的變化只有十分微小的跳躍。

【滑環】（Slip ring）

交流電機將電流傳到碳刷作輸出用的收集環。

【滋生】(Breeding)

參閱“滋生反應器(*Breeder reactor*)”條。

【滋生比】(Breeding ratio)

在滋生反應器中，新產生的可裂物質的原子數與所消耗的可裂物質原子數之比稱爲滋生比。滋生比值減去 1 就是滋生收益。

【滋生反應器】(Breeder reactor)

滋生反應器的中心是一個約如足球大小中空的器心，含有天然鈾，一個 ^{235}U 原子對 140 個 ^{238}U 原子。^{235}U 像它們在其他反應器中一樣的分裂，每一個進行分裂的原子平均釋出 2.5個中子；這些中子間的一個該撞擊另一個 ^{235}U 核以維持反應。在剩下的 1.5 個中子中，一個以上進入一個 ^{238}U核以供滋生的進行。滋生這兩字的意義，乃是指生產更多的核子燃料來代替分裂作用所用的燃料。

對這反應器的設計(如圖 13—85)，是儘可能的保留中子爲主。因此它有一個微小的器心，並有一層包裹著器心的 ^{238}U以捕捉從器心失散的中子，但是卻沒有緩速劑(*moderator*)(因爲所有緩速劑均會吸收中子)。又由於所有反應器的力均以熱的方式出現，故必須從器心轉移到渦輪，然後轉變成電能。

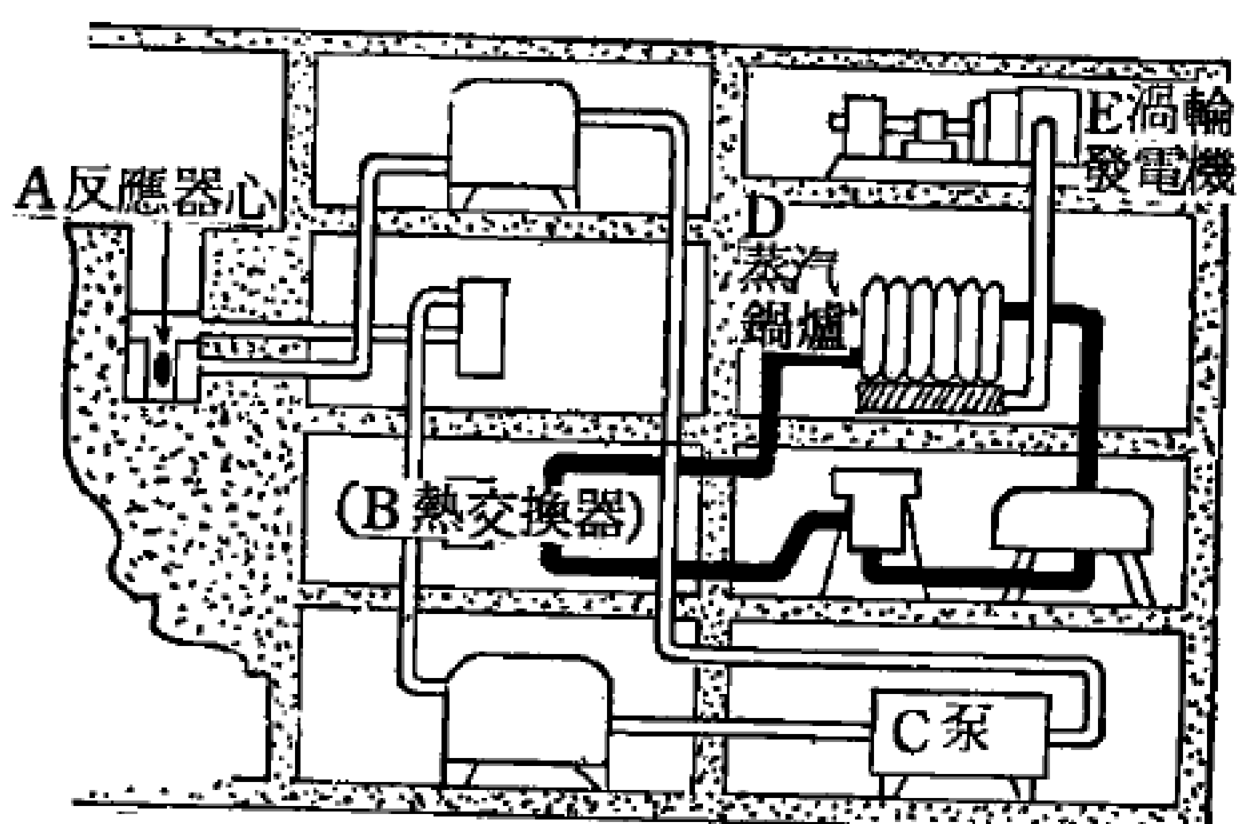


圖 13— 85

液體金屬泵經微小反應器心拾取熱，帶至熱交換器和鍋爐，而發生蒸汽。蒸汽轉動一渦輪，渦輪轉動一發電機。

滋生反應器爲一種核反應裝置，在此裝置中，除由分裂之核反應產生能量外，尚能同時產生較消耗量爲多的可分裂物質。

嚴格而論，滋生反應器應限其產生與消耗之可分裂物質爲相同者。如以 ^{239}Pu 作可分裂物之反應器，同時由在反應器中的 ^{238}U 吸收中子，再經兩次貝他衰變後生成 ^{239}Pu 。通常可能爲滋生反應器者爲快中子反應器之形式（或可能爲以 ^{232}Th 及 ^{233}U 作燃料的熱中子反應器）。快中子反應器卽反應器中不含緩速劑，而中子能譜大部分集中在 0.1 MeV ～ 1 MeV 之間者。可資發展之快中子滋生反應器爲以鈉（Na）或氦（He）氣作冷卻劑者。此型反應器的發展可幫助我們解決核能燃料逐漸缺少的問題。

爲保持反應器中快中子的能量，其中原子量較小的物質應儘量避免。又因快中子對可分裂物的分裂截面積遠較熱中子爲小，故同體積之反應器達臨界運轉所需的可分裂物之量快中子者較熱子者爲多。

快中子滋生反應器因中子平均壽命較短，故安全方面的顧慮遠較熱中子反應器爲重要。由於世界上已有許多零功率（*zero power*）的快中子反應器專作實驗，以供設計的先驅之用。我們已可預期此型反應器的誕生僅是時間問題。

如圖 13—86 所示。熱被一種繞器心循環的液體金屬（一種鈉與鉀（K）的合金）吸收。液體金屬從反應器出來時的溫度是 660° F。它被泵至一熱交換器後，便會在熱交換器中放出它的熱給另一液體金屬。

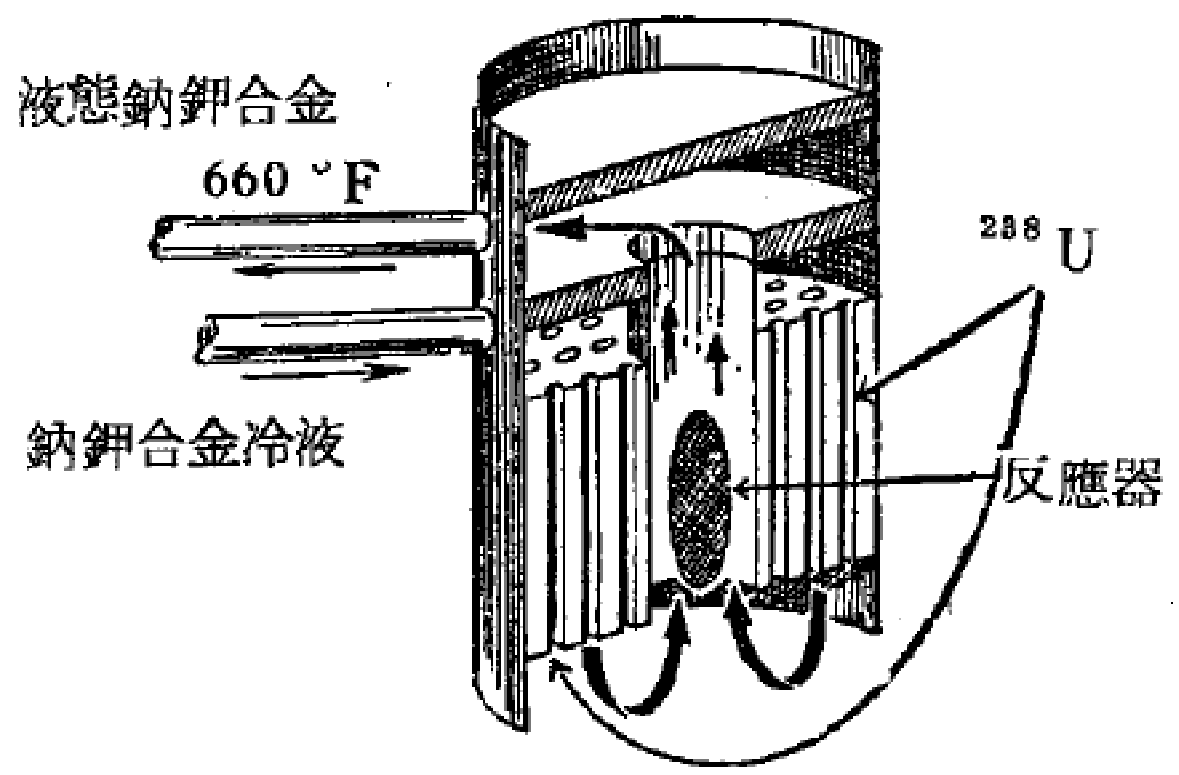


圖 13 — 86

冷卻劑（鈉和鉀合金）泵經包裹在 ^{238}U 中的管子而吸收熱。離反應器心時的溫度是660 °F，並在一高階層放射性狀態。

這兩種循環應該設法加以分離，以便減低放射性危害及便於修理、維護，因爲當金屬暴露於像這種反應器器心的高中子流中，是會很快被損壞的。滋生反應器中的中子流，是每秒每平方吋 5.6×10^{14}

個中子，是已知的最高中子流。如此巨大的撞擊，會迅速和嚴重的損壞金屬（如圖 13 — 87），故電廠中反應器和第一金屬合金循環的部分，應建在厚的混凝土屏蔽之內。

滋生反應器不僅可以產生大量可用的能，同時還能產生比開始時所用量較多的燃料（是一種可分裂的 ^{239}Pu 形式，能用於其他反應器中）。

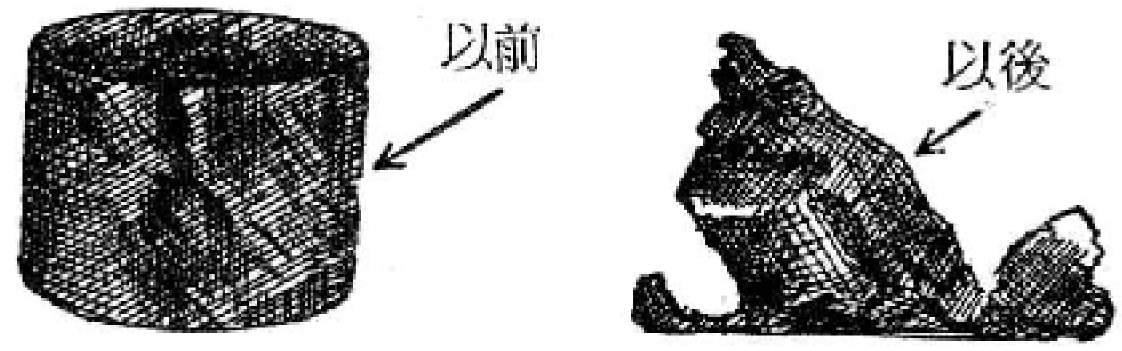


圖 13 — 87
由於中子撞擊所引起的一塊鈾的潰裂情況

在不久的將來，科學家們或許會發展一種能直接利用原子能的全新引擎，或是沒有中間步驟而直接轉變原子能爲電能的機器。如這種最佳器械由理想變爲事實時，滋生反應器乃成爲最重要的原子能轉變器。

【滋生收益】（Breeding gain）

參閱“滋生比（*Breeding ratio*）”條。

【溫泉】（Thermal spring）

溫泉是在火山地區或附近地下湧出來的溫熱泉水，其溫度差別甚大，有些只在攝氏二、三十度，有些則達沸點以上。有些溫泉含有很多礦物質，因此叫做礦泉。

溫泉之成因，以地質學論之，絕非如普通地泉之簡單。普通地泉皆由雨水滲透地層，經其濾清而積蓄之。溫泉之來源，或由雨水降至深層而上升；或由岩石結晶水經地熱之分解上升而凝成。按照前說，水之下降必甚緩，非數年不可。蓋水之溫度，隨降隨高，每增一度（攝氏），必降三十三公尺（地熱計）。一路經過地層各種物質，將其冲洗，雖其過程詳細情形不得而知，然其溫度上升極速。因無冷卻之時間，溫泉之溫度，有時能達八十度以上，以地熱計算，至少來自二千六百公尺之深處。又因噴出之量甚大，其路徑必具特殊之狀態，此特殊狀態，地質學

上即稱之爲斷層。

按照上述二說，則溫泉之水源有二類，非火山脈附近屬第一類，即雨水滲透爲水源；近火山脈或近舊火山者屬第二類，即多量岩石受地熱分解，將其結晶水排出，而帶碳酸。因之，此類礦泉中，常含重碳酸鈉、鈣、鎂等。

礦泉中蘊藏之原質，幾可代表地殼全部之物質。地殼與物質，無時不在變動，一切物質，可詳分成極微細之成分，易滲和於其他物質中；地中礦泉經過，將物質溶解，因而浮載而去。此可由各種溫泉之放射性證得。

1904 年居里(*Pierre Curie*)便曾經研究礦泉四十處溫泉十處，皆含鐳(*radium*)之放射物，迄今所研究之礦泉溫泉過半，皆有此放射物。惟鐳之放射物，隨時損失，約三日半，即失其半，一月之後，將礦泉在密閉貯藏之中，亦完全失其放射性。以此可知：礦泉中鐳之放射性，非在當地，即失其功效。

【溫度】(Temperature)

溫度原表示冷熱感覺的程度和物系內部分子的平均動能成正比，但在物理學上認爲是一種可以指示熱平衡狀態的量。若使與物體A成熱平衡的物體B同時接觸於另一物體C而達成平衡，則A與C接觸時兩者亦成熱平衡。因此，可定義A與C爲同溫度。再者，若將物體B當作溫度計時，則無須將A與C接觸，亦可檢驗A和C是否同溫度，這種經驗事實可視作溫度的存在定理，而稱爲熱力學的第零定律。

第零定律告訴我們，溫度是一個統一的觀念，與物系的內容無關。反過來，我們可以任選一個物系做爲溫度計，以其隨溫度而改變的性質來定量溫度，這就不失其統一的性質。現在，我們以氣體溫度計爲例來定義一個溫度計。取S爲由一種氣體組成的物系，使S與另一個很大的平衡物系S'保持熱接觸，當兩物系平衡時，記下物系S的P、V（V

表示一克分子氣體的容積）值。如圖 13—88 在 P - V 圖中標出多個 P、V 的位置，保持 S' 的狀態不變，而緩慢地改變 S 的 P、V 值。在同樣的平衡狀態下，找到一組 P、V 值。這樣一組 P、V 的值相當於圖中的一條曲線。把這條曲線標明爲物系 S' 的溫度 θ_1。現在，加熱物系 S'，使達到另一個平衡狀態；同樣地，以溫度計 S 與 S' 接觸，當兩者平衡時，又可以標出一條 θ_2 曲線。如此下去，可以得到圖示的一組曲線。現在，把物系 S 的壓力保持定值 P_0；那麼，要量一物系的溫度，只要使溫度計 S 和它保持熱接觸。若溫度計在比較上比要量的物系小很多，當平衡到達時，物系的溫度可以由物系 S 的容積讀數 V，在圖 13—88 上找出和 $P = P_0$ 相交於 V 的溫度曲線。這條曲線所代表的溫度，就是該物系的溫度。或者是，固定物系 S 的容積 $V = V_0$，則從壓力的讀數也可以得知要量度物系的溫度。

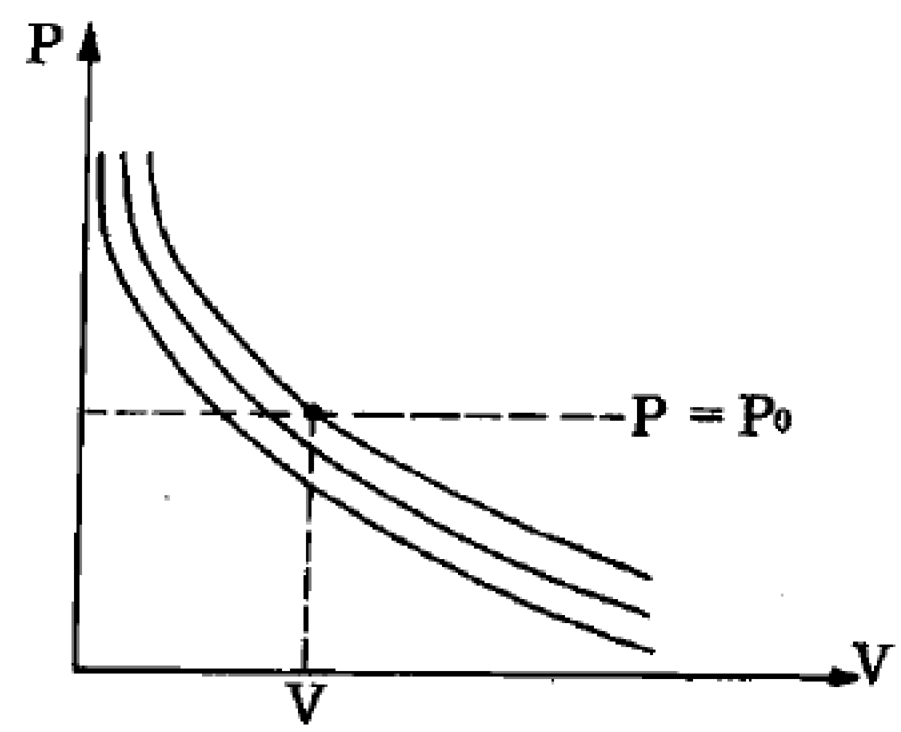


圖 13—88　氣體溫度的定法

根據以上溫度的定義，圖 13—88 的曲線稱爲等溫線。由實驗證明，稀薄氣體（在壓力趨近於零的極限）的等溫線是雙曲線。也就是說，可以用下列的關係式來表示：

$$\lim_{P \to 0} PV = f(\theta)$$

$f(\theta)$ 的函數形式，要看溫度 θ 的定義而定。在式中的低壓極限下，實驗證明 $f(\theta)$ 與氣體的種類無關（見圖 13—89）。爲簡便起見，通常我們選取 f 爲 θ 的線型函數：

$$\lim_{P \to 0} PV = k_1\theta + k_2 \qquad (1)$$

k_1，k_2 都是任意常數；k_1 值決定刻度的大小，k_2 值決定溫度爲零時的狀態。選取不同的 k_1、k_2 值，即定下不同的溫度計標度。一般的慣例

，是將 k_2 定為零，即

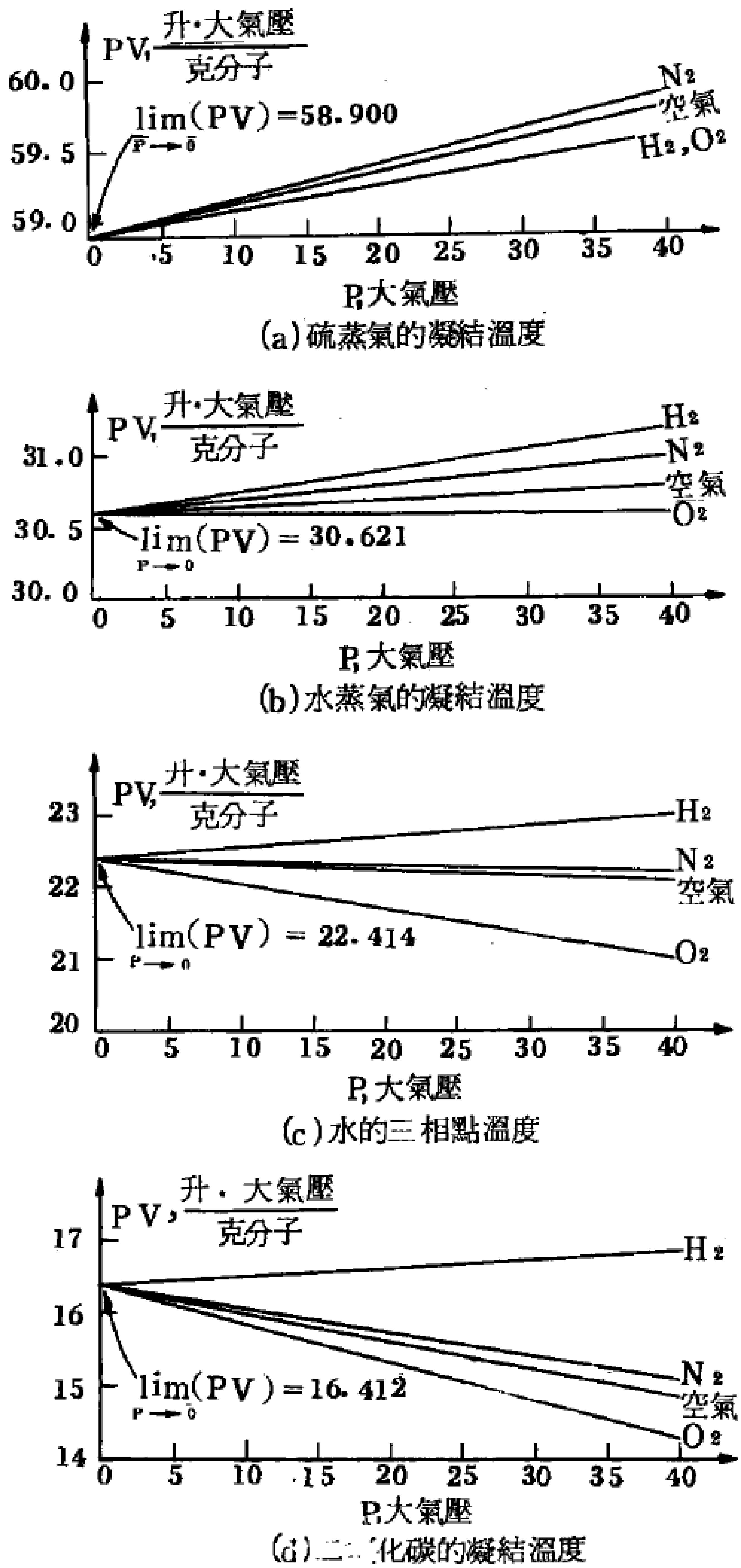
$$\lim_{P \to 0} PV = k_1\theta$$

而刻度的大小則令水的三相點（在一個固定溫度與壓力下，冰、水與水蒸氣同時存在平衡狀態之下）的溫度為 273.16° *K*，根據上式

$$k_1 = \frac{1}{273.16} P_3 V_3$$

P_3、V_3 分別為氣體在水的三相點溫度時的 *P*、*V* 極限值。這些極限值可由實驗量得。因此，k_1 的值馬上可以被算出。這樣定義出來的溫度，稱為理想氣體溫度（*ideal gas temperature*），其單位為 °*K*。通常我們以 *R* 來表示 k_1。由實驗的結果算出

$R = k_1 = 8.31 \times 10^3$ 爾格／克分子・度 ＝ 1.987 卡／克分子・度＝ 0.0820 升・大氣壓／克分子・度



(a) 硫蒸氣的凝結溫度

(b) 水蒸氣的凝結溫度

(c) 水的三相點溫度

(d) 二氧化碳的凝結溫度

圖 13 — 89

在 P→0 的極限時，PV 僅和溫度有關，而與氣體的種類無關。

理想氣體溫度是一種純以運作觀點來定義的一種觀念。這個定義的適用範圍很廣。可以用來定義很高的溫度（除非氣體游離了），也可以用來定義相當低的溫度，用氣體氦（He）可以將溫度標定至1°K左右。零度的溫度，實際上未被定義出來。

攝氏溫度計標度的取法又不同；它定水的冰點爲攝氏0°C。由（1）式

$$k_2 = PV \text{（水在冰點的值）}$$

又定水的沸點和冰點的溫度差爲100度，這一來k_1也就可以被算出來了。這兩個溫度計標的換算是：

$$0°C = 273.15°K$$

任何其他複雜的物系都可以用來做溫度計。可是，一旦選取了一種物系來定義溫度以後，其他物系所做的溫度計就必須以它爲準，不能再任意定義；因爲，溫度是一個統一的觀念，不能隨意制定。利用熱平衡時兩者溫度相等的條件，就可以校正多個物系的溫度計的標度。要決定溫標，可利用因溫度而變的種種物理現象，其中最簡單者爲物體的熱膨脹。但因物體的熱膨脹隨物質的性質而異，故欲不賴物體性質而定義溫度，則須根據熱力學第二定律。

利用物質熱膨脹冷收縮的性質而製成用以量度溫度的儀表，稱爲溫度計（*thermometer*），例如水銀溫度計及酒精溫度計等。

【溫度的單位】（Unit of temperature）

一般說來溫度的單位有下列幾種：

1. 攝氏（*Celsius*）溫度單位“°C”——以水的冰點爲0°C，沸點爲100°C，分爲100等分。在$C.G.S.$制中用攝氏溫度單位。

2. 華氏（*Fahrenheit*）溫度單位“°F”——以水的冰點爲32°F，沸點爲212°F，分爲180等分。在$F.P.S.$制中用華氏溫度單位。

3. 列氏（*Reaumur*）溫度單位“°*R*”——以水的冰點爲0°*R*，沸點爲80°*R*，分爲80等分。列氏溫度單位已甚少使用。

4. 絕對或克氏（*absolute or Kelvin*）溫度單位“°*K*”或“°*A*”——以水的冰點爲273°*K*，至水的沸點分爲100等分。在科學實驗中多用絕對單位，$0°K = -273°C$ 稱爲絕對零度。它們之間溫度單位的換算（依比例列等式）

$$\frac{°C}{100} = \frac{°F - 32}{180} = \frac{°R}{80} = \frac{°K - 273}{100}$$

【溫度計】（Thermometer）

也叫做寒暑表，利用物質因溫度之變化則膨脹或收縮的性質，以計量溫度的器具。現在所使用的溫度計，有利用液體或固體的熱膨脹者；也有利用電阻的溫度變化者；也有利用光對溫度的顏色變化者等，種類很多，物質的很多物理性質會因溫度改變，這些改變用來做製成溫度計的基礎。最初假設這些性質安定地隨溫度成線性改變，因此固定點間的距離能被分成許多小等分，每一等分表示一度，任何一度均具有相同的距離（或角度或電壓）。

水銀溫度計是利用當溫度升高時，液態水銀膨脹均勻的特性製成的。其他較便宜的低溫溫度計係利用會隨溫度上升而均勻膨脹的著色酒精或液態烴製成。

水銀溫度計（*mercury thermometer*）取內徑粗細均勻之毛細玻璃管，將其一端吹作球形或圓筒形，加熱使其內空氣膨脹而稀薄，倒插入水銀內，冷後水銀稍升入管內，如是三、四次，則水銀充滿玻璃管及球內；更熱之，使水銀沸騰，則水銀化爲蒸氣，將管內殘餘之空氣逐出，而水銀充滿管內；密封冷卻後，則水銀收縮，僅充滿球內，而管內成眞空，將管之外壁刻以度畫，即得溫度計。

將用上法所作之溫度計，插入純粹之將熔未熔之冰中，則水銀收縮

至一定之處而止，記其位置，是爲冰點。次煮之使沸騰，令其水蒸氣之張力等於一氣壓，將溫度計插入此水蒸氣中，則水銀膨脹而上升至一定高而止，記其位置，是爲沸點。沸點與冰點間刻爲若干等分，其一等分謂之一度。零度以下之溫度，謂之負溫度，以“－”號表之。

一般其刻度的大小通用的有：

1. 沸點與冰點間刻爲100等分，而以冰點爲0°，沸點爲100°，謂之攝氏溫度計。學術上常用之，其符號爲*C*，如攝氏40°，則書爲40°*C*。攝氏溫度計又稱爲百度表。

2. 沸點與冰點間刻爲80等分，而以冰點爲0°，沸點爲80°，謂之列氏溫度計。其符號用*R*，如列氏40°，則書爲40°*R*。

3. 沸點與冰點間刻爲180等分，而以沸點爲212°，冰點爲32°，謂之華氏溫度計，其符號*F*，如華氏60°，則書寫爲60°*F*。

酒精溫度計（*alcohol thermometer*）是以著色之酒精入溫度計內代水銀，而製成之溫度計。酒精至攝氏78°即沸騰，故酒精溫度計不能測高溫度。又其度畫係與水銀溫度計比較而刻，故不能測沸點，然酒精之凝固點低，故可用酒精溫度計測低溫度。

【溫度計之刻度法】（Graduation of thermometer）

參閱“溫度計（*Thermometer*）”條。

【溫度計之校正】（Correction of thermometer）

1. 冰點之校正——於1大氣壓下，純水與冰相混合時之溫度稱爲水之冰點，通常以0°*C*表之。

(1)冰點之測定裝置如圖13—90所示，於漏斗內放入適當量之純碎冰，用夾子夾住連結漏斗下端之橡皮管，然後插入欲校正之溫度計於碎冰中。溫度計之零度標線

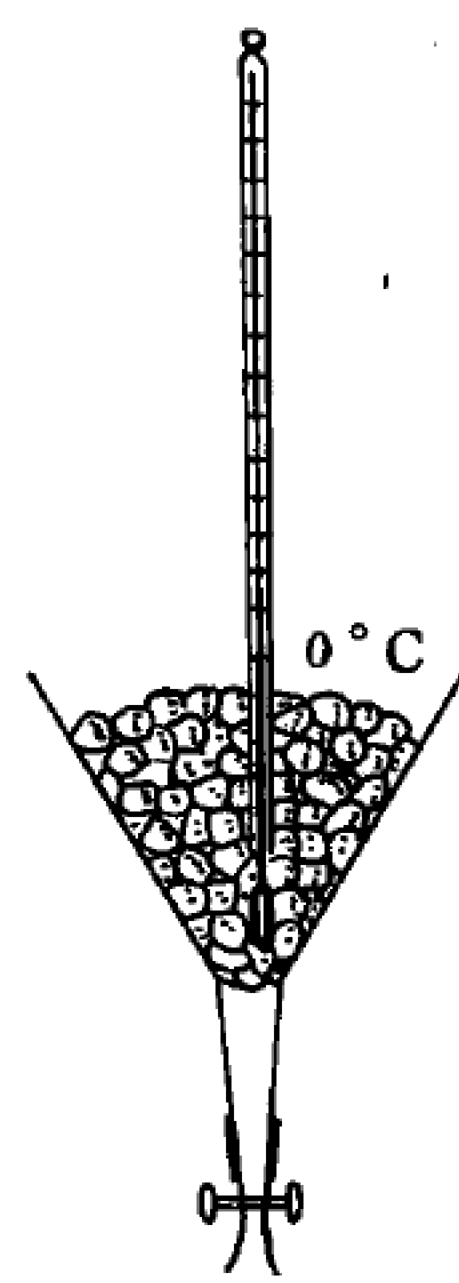


圖13—90

宜近於碎冰之面。

(2)自漏斗上注入蒸餾水，並稍開下端之夾子令水徐徐滴下，示漏斗內之冰正在熔解。約十分鐘後觀測溫度計之水銀柱是否再下降。若一定，輕輕地叩打（避免水銀柱附著於毛細管）後，讀其示度為 t_0 °。則此溫度計所指之 t_0 °C 應為眞正之 0°C， 故此溫度計之冰點改正值為 t_0 °C 。

其應注意者有下列幾點：

(1)測定之前，須由上滴下蒸餾水，充分除去附著於漏斗內冰表面之塵埃。

(2)測定中，水與冰須完全接觸，若其間有空氣之間隙時，不能得到正確測定值。

(3)冰點所受壓力之影響——此值甚小，對於 1 大氣壓之變化，約為 0.0095°C 。 所以除非需要十分精密外，可不必考慮氣壓之變化。又氣壓增加時空氣在水中之溶解度增加，因此冰點下降。對於 1 氣壓力之增加，冰點下降 0.0024°C 。 綜合上述兩種情形，壓力對於冰點之下降，可用下式表之。即

$$\Delta t = 0.000013\ (760 - P)$$

上式中 P 為測定時之大氣壓力，其單位以 $mmHg$ 表之，於是若由冰點減去 Δt 則可得眞正冰點。

2.沸點之改正——沸點之決定比冰點稍難，水在 1 大氣壓（ 0°C ， 760 mm 水銀柱之壓力）下沸騰時之水蒸氣溫度，稱為水之沸點，測定沸點之裝置如圖 13—91所示，A 為 1,000cc. 之圓底派熱司（$Pyrex$ ）玻璃瓶，其頸（內徑 4 cm ）包有一直徑約 8cm 之圓筒 C ，U 形管M 為壓力計，內裝有水，由水柱差可測得 B 內之壓力與外界之壓力差。

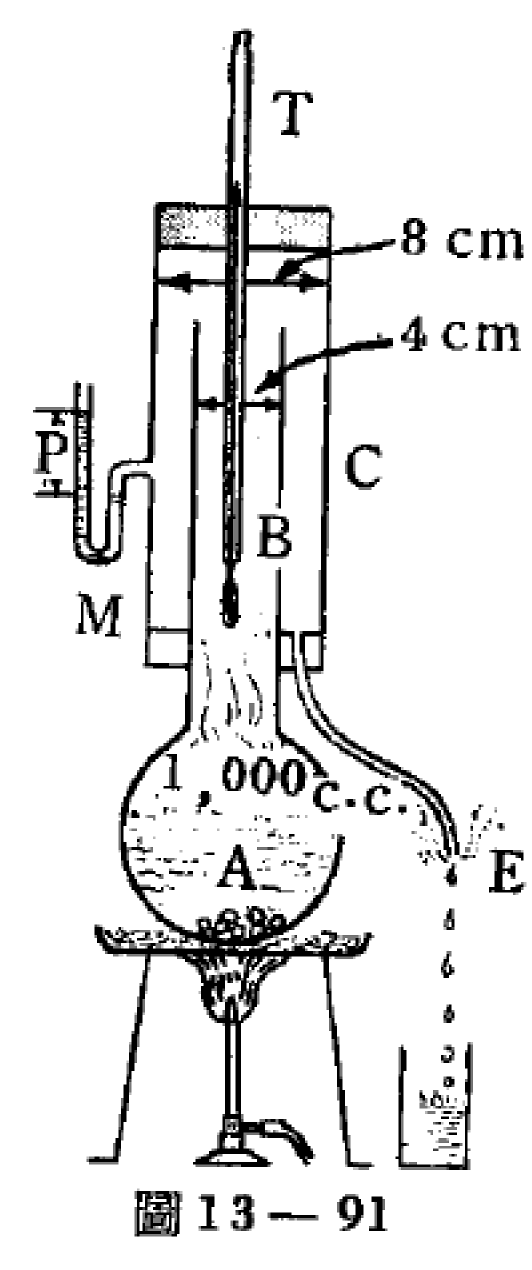


圖 13—91

(1)注入約A容積二分之一之蒸餾水於A瓶內。爲避免蒸氣激烈發生，於A內放入數個直徑約5 mm之小派熱司玻璃球。溫度計經木塞，如圖13—91插妥。溫度計之球部不可觸水，100°C之標度線應稍露出，以便核準。

(2)加熱A瓶之底，則A瓶內之水開始沸騰。所產生之水蒸氣則由B上升。經C圓筒，與C內凝縮之水一同由E排出。

(3)待A內之水沸騰十分鐘左右，溫度之水銀面不再移動時，讀其示度爲t_{100}。同時用測高計或米突尺量U字管之壓力差h mm。由氣壓計讀該時之大氣壓力P $mmHg$，即此時A瓶之壓力較大氣壓力P高$\frac{h}{13.6}=p$ $mmHg$。所以此時所測t_{100}，爲於壓力($P+p$)$mmHg$下水之沸點。水之沸點與壓力之關係，可由下表或由(1)式計算得之

水銀柱之高 mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	°C									
680	96.91	96.95	97.00	97.03	97.07	97.11	97.15	97.20	97.24	97.28
690	97.32	.36	.40	.44	.48	.52	.56	.59	.63	.67
700	97.71	.75	.79	.83	.87	.91	.95	.99	98.03	98.07
710	98.11	98.14	98.18	98.22	98.26	98.30	98.34	98.38	.42	.45
720	98.49	.53	.57	.61	.65	.69	.72	.76	.80	.84
730	98.88	.91	.95	.99	99.03	99.07	99.10	99.14	99.18	99.22
740	99.25	99.29	99.33	99.37	.41	.44	.48	.52	.56	.59
750	99.63	.67	.70	.74	.78	.81	.85	.89	.93	.96
760	100.00	100.03	100.07	100.11	100.15	100.18	100.22	100.26	100.29	100.33
770	100.37	.40	.44	.47	.51	.55	.58	.62	.66	.69
780	100.73	.76	.80	.84	.87	.91	.94	.98	101.01	101.05

$$t_b = 100 + 0.0375\,(H - 760) \qquad (1)$$

t_b爲於H $mmHg$壓力下水之沸點；(1)式可通用於715～770 mm Hg之壓力範圍。若設由(1)式或由上表查得($P+p$)$mmHg$力下之沸點爲$100+t$時，則此溫度計之($t_{100}-t_0$)度相當於眞正溫度($100+t$)度。卽溫度計上各1度相當於眞正溫度之$\frac{100+t}{t_{100}-t_0}$度。若用此溫度計測某物質溫度時，設水銀柱之頂點指$t'$°$C$則

$$眞正溫度 = (t' - t_0) \times \frac{100+t}{t_{100}-t_0}$$

若溫度計之毛細管內徑很均勻且其刻度之每等分長度均相等時，可用此法改正之，否則應再加以改正。

校準溫度計之沸點時，應注意下列幾點：

1. 溫度計球部不可浸於水中，因水中常含有溶解物，於是沸騰時，其溫度往往不在 100°C。

2. 所用之容器 A 必須爲派熱司玻璃。若用普通市販玻璃，因常有鹼類被水溶出，致使其沸點變化。所以測定沸點時，最好將溫度計球部離開水面適當位置之蒸氣中（因蒸氣之溫度與水中溶解物無關，於是可得純水之沸點）。

3. 毛細管內徑不均勻之改正——對於管內徑不均勻之改正可將一定長之水銀柱在管內各部分移動，測定其長度。用左手倒拿溫度計，卽球部向上，右手輕輕地打左手頸，則可切斷水銀柱。所切斷水銀柱之長度以相當溫度計刻度之 5～10 度爲宜。若所切斷者較 10 度長 x 度，則使再相接後，將球部冷卻。待其水銀柱下降 x 度後再如上法切斷之。若較短 x 度，則同樣加溫使上升 x 度後，再如上法切斷，或將溫度計水平放於強火焰（火焰高爲 4～5 毫米之煤氣燈）上轉動幾轉，使水銀柱切斷。然後置溫度計於平面鏡上，使被切斷水銀柱在 0°～10°, 10°～20°, ……, 90°～100° 間移動。由溫度計之刻度讀出其各部分之長度爲 $l_1, l_2, \cdots\cdots l_{10}$，設其平均長度爲 L，則

$$L = \frac{1}{10}\left(l_1 + l_2 + l_3 + \cdots\cdots + l_9 + l_{10} \right)$$

所以於各溫度下之改正值 δ 爲

$0°$ $\quad\delta = 0$

$0°\sim 10°$ $\quad\delta = \frac{t}{10}\left(L - l_1 \right)$

$10°\sim 20°$ $\quad\delta = \left(L - l_1 \right) + \frac{t-10}{10}\left(L - l_2 \right)$

………………………………………………………………

$$90°\sim100°\ \delta=(L-l_1)+(L-l_2)+\cdots+(L-l_9)\frac{t-90}{10}(L-l_{10})$$

$$100°\qquad \delta=(L-l_1)+(L-l_2)+(L-l_3)+\cdots+(L-l_{10})$$

$$=10L-(l_1+l_2+l_3+\cdots\cdots+l_{10})=0$$

綜合上述改正，得

$$眞正溫度=(t'-t_0)\times\frac{100+t}{t_{100}-t_0}+\delta$$

溫度範圍	水銀柱兩端之讀數		水銀柱之長度 l_i	$L-l_i$	改正 δ
0	0				0
0～10	0.1	9.9	9.8	−0.12	$-0.12\times\frac{t}{10}$
10～20	10.0	19.9	9.9	−0.22	$-0.12+\frac{t'-10}{10}\times(-0.22)$
20～30	20.1	29.8	9.7	−0.02	$-0.34+\frac{t'-20}{10}\times(-0.02)$
30～40	30.1	39.7	9.6	+0.08	$-0.36+\frac{t'-30}{10}\times(+0.08)$
40～50	40.3	49.8	9.5	+0.18	$-0.28+\frac{t'-40}{10}\times(-0.18)$
50～60	50.3	59.7	9.7	−0.02	$-0.10+\frac{t'-50}{10}\times(-0.02)$
60～70	60.2	69.9	9.7	−0.02	$-0.12+\frac{t'-60}{1C}\times(-0.02)$
70～80	70.1	79.6	9.5	+0.18	$-0.14+\frac{t'-70}{10}\times(+0.18)$
80～90	80.0	89.7	9.7	−0.02	$+0.04+\frac{t'-80}{10}\times(-0.02)$
90～100	90.2	99.9	9.7	−0.02	$+0.02+\frac{t'-90}{10}\times(-0.02)$
100					0

（平均9.68）

4. 毛細管現象之改正——不論毛細管中液體之表面張力爲正或負，對於液柱上升或下降時，其對於同一溫度之示度通常不相等。又當溫度連續變化時，液面位置之變化，非連續而呈斷續變化。此主要爲因表面張力及管內未洗淨所致。故爲避免因此現象引起之溫度誤差，通常先輕叩溫度計後，始讀其所示溫度。

5. 對於露出空氣中水銀柱示度之改正——設欲測介質之眞正溫度爲 $t\,°C$， 用溫度計測定時之示度爲 $t'\,°C$ 。室溫或溫度計露出空氣中之溫度爲 $t''\,°C$ 。露出在空氣中之水銀長度爲 l 。其單位以溫度計之刻度表之。水銀之體膨脹係數爲 α，溫度計玻璃之體膨脹係數爲 β，則露出部分之水銀柱溫度低（ $t - t''$ ）°。故此部分所收縮度數爲

$$\Delta = (t - t'')(\alpha - \beta)\,l$$

卽　　　眞正溫度 $= t' + (t - t'')(\alpha - \beta)\,l$

普通溫度計之水銀對於玻璃之視膨脹（ $\alpha - \beta$ ）值爲 $2 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-5}$ 。若設此值爲 0.000155 時，則

$$t = t' + 0.000155\,(t - t'')\,l \doteqdot t' + 0.000155\,(t' - t'')\,l$$

【溫度計之基本間隔】（Fundamental interval of thermometer）

冰點與蒸氣點間之溫度差，常名爲溫度計之基本間隔。

【溫度計之種類】（Sorts of thermometer）

一般可將溫度計類分爲：

1. 普通溫度計——一般用盛有水銀或著色酒精的玻璃管，抽成眞空而封閉之，先定冰點與沸點再等分刻度。以刻度單位不同分爲攝氏、華氏、列氏等溫度計。

2. 最高溫度計（*maximum thermometer*）又分爲

(1)曲頸溫度計（卽醫用溫度計 *clinical thermometer*）——使水銀封入曲頸之下的泡球中，溫度上升時，水銀膨脹可通過曲頸，而至一

定刻度處；溫度下降時，僅憑地心引力不能返入球中，故可讀出最高溫度（通常為 35°C～42°C）。曲頸溫度計中之水銀因阻力而隔；簧片溫度計之簧片因推力而進。

(2)簧片溫度計（即測候使用最高溫度計）——在水銀面上置一短小鐵棒，溫度上升時，水銀推棒前進；下降時，水銀獨自縮回。鐵棒則留於實際溫度所至的最高刻度處，記錄最高溫度時，將此計橫放，準備再作測定時，以磁鐵將棒吸回，或將溫度計直立即可。

3. 最低溫度計（*minimum thermometer*）——管內盛無色酒精及一啞鈴狀細小黑色玻璃棒，用時平放。溫度降則酒精收縮，由表面張力攜棒下降；溫度升，此小棒即附著不動，準備再作測定時，將溫度計倒立即可。

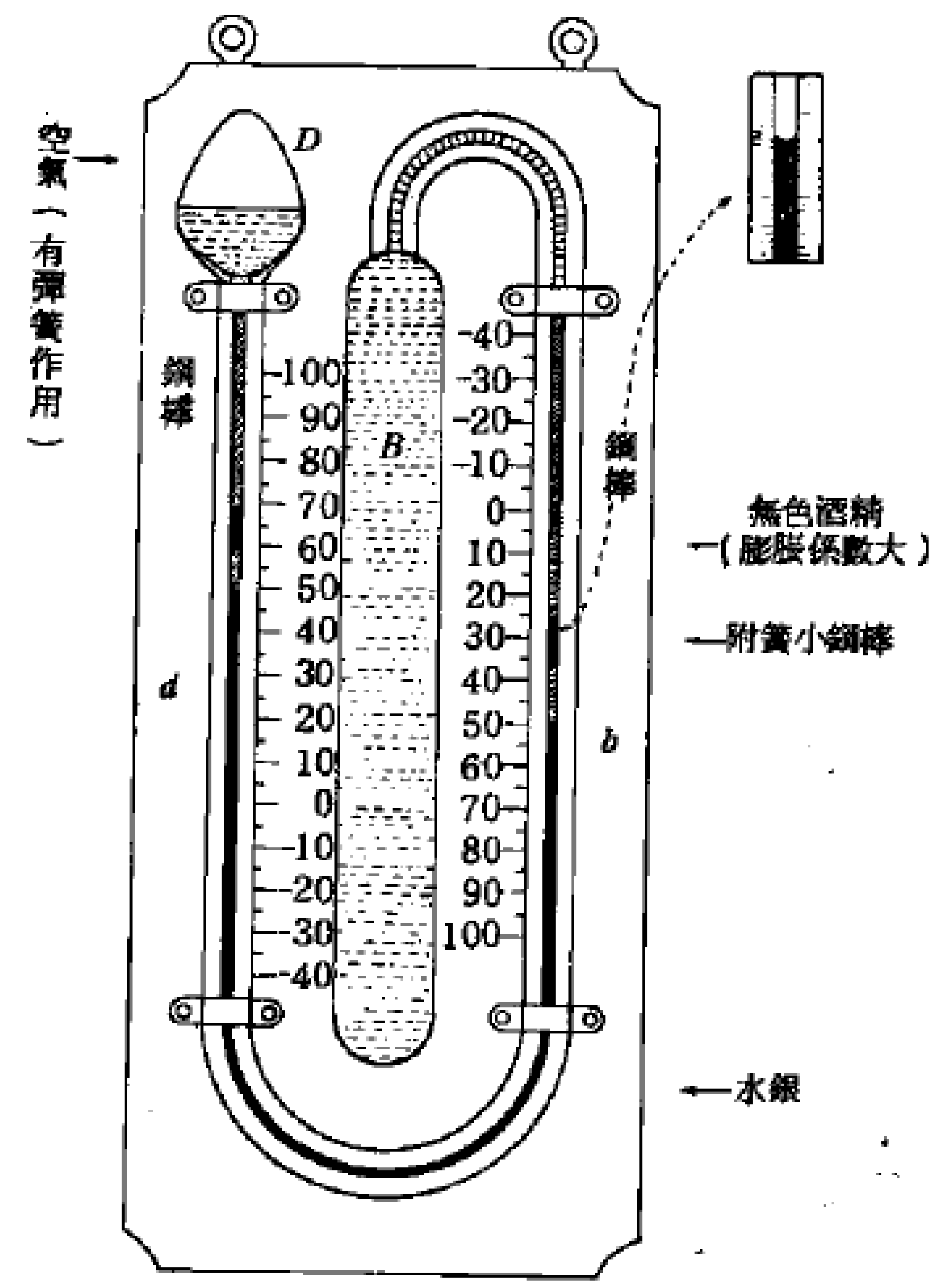


圖 13 — 92

4. 最高最低溫度計（*maximum and minimum thermometer*）——管內分別裝入水銀（圖 13—92之黑色部分）與無色酒精（膨脹係數較大，圖內虛線部分表此）。由酒精與水銀膨脹係數的懸殊，溫度上升時酒精可迫水銀擠向左管使附簧小鋼棒停於最高溫度處；溫度降則水銀即回流於右管使另一附簧小鋼棒推至最低溫度處。如息克斯溫度計（*Six's thermometer*）。

【溫度逆增】（Inversion of temperature）

溫度隨高度而增加謂之逆增。由特定之大氣現象而發生。

【溫度效應】（Temperature effect）

在光譜中一定溫度有一定之溫度譜線（*temperature line*）。由

譜線亦可研究輻射線之溫度。

【溫度氣壓計】（Thermobarograph）

可以從事氣壓計測量高度工作之溫度計，其之稱溫度氣壓計或沸點測高計，即此爲以觀察沸點的方法來測定高度的儀器。此類儀器具有一溫度計，計上溫標只從 90°C 檢定到 102°C，並劃分爲十分之一或百分之一的度數；除了溫度計以外，另附有一個裝配得當的沸騰水槽。我們從一種列出每 1/100 度攝氏溫度的蒸汽壓力之圖表上，就可以按照當時的沸點查出相應的飽和壓力。此一壓力即等於水在沸騰時所承受之氣壓計讀數。沸騰溫度每降低 1°C 時，大約相當於氣壓計讀數降低 27 毫米，也就是相當於在地球表面上垂直升高 297米。在新式的沸點測高計上，更安排成能夠直接看出沸騰溫度時的氣壓計讀數，而毋需由沸騰溫度再加換算。

【溫度梯度】（Temperature gradient）

爲溫度變化之階段。物體相鄰部分間因溫度不同而產生能量之轉移稱爲熱傳導。設想一板狀材料，其截面積爲A，厚度爲Δx，各面保持於不同之溫度，量取在Δt 時間內垂直流過各面之熱量ΔQ。實驗顯示倘若ΔT與Δx均小時，在一定之溫度差ΔT、ΔQ與Δt及與截面積A成正比；而在一定之Δt和A，則ΔQ與$\Delta T/\Delta x$成正比，即

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t}\propto A\frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{（近似）}$$

當板之厚度至無限小dx之極限時，兩面之溫度差爲dT，得熱傳導之基本定律爲

$$\frac{dQ}{dt}=-kA\frac{dT}{dx}$$

dQ/dT 爲熱量轉移過截面A時之流率，dT/dx 稱爲溫度梯度，k 爲比例常數，稱爲導熱率。選擇x增加方向爲熱流方向；因熱流方向是T減少之方向，故在上式中引入負號（即當dT/dx爲負時，欲使dQ

/*dt* 為正）。

參閱“熱傳導（*Heat conduction*）”條。

【溫度補償】（Temperature compensation）

這是補償溫度對某種器件的工作之影響。在無線電技術中，最常見的是用來消除電子管振盪器內溫度對振盪頻率的影響及溫度對振盪廻路調諧的影響。當溫度變化時，由於熱膨脹的關係，組成振盪廻路的電容器與自感線圈的尺寸要發生變化。電容器的電容及線圈的電感這時也就發生變化，因而廻路的頻率也就變化了。為了消除溫度的影響，便將電容器與自感線圈設計得當其尺寸由於溫度變化而發生變化時，電容器的電容和線圈的電感仍舊保持不變。獲得這種情況的方法是使一種尺寸的變化由另一種尺寸的變化來補償，例如電容器極板尺寸因熱膨脹而發生的增大可用極板間距離的增大來補償（為此，要求電容器具有特殊的結構，並且對於電容器材料應進行特別的選擇）。採用的還有其他一些原理。例如廻路的電容器與線圈是這樣地進行補償，就是雖然電容器的電容和線圈的電感分別地隨溫度而發生變化，但其乘積仍然是不變的，因此電容器與線圈所組成廻路的頻率當溫度變化時仍能保持不變。溫度補償用於需要有穩定振盪頻率的情況，例如用於標準信號主振器的振盪廻路中及精密波長計內。

【溫度輻射】（Temperature radiation）

由物體輻射出的光（電磁波），其性質隨激發的方法而異，但如高溫物體的輻射一樣，其能量和頻率分佈只依物質的種類和溫度而定者，稱為溫度輻射。

【溫度擴散】（Temperature diffusion）

在混合氣體或溶液內，若溫度 T 不均勻，則隨之產生濃度的梯度。如此，將一部分的成分移至高溫度，而將另一部分成分移動至低溫度，這種現象稱為溫度擴散或熱擴散。溫度擴散在液相時早已為人們所悉，

然對氣相則於 1911 年始被恩士格（*D. Eenskog*）所預言，稍後恰布曼（*Chapman*）亦獨自發現。

若兩種成分混合的氣體內重成分和輕成分的克分子分數分別為 C_1 和 C_2（$C_1 + C_2 = 1$），則 $K_T = -\frac{dc_1}{d\,log_e T} = \frac{dc_2}{d\,log_e T}$ 稱為溫度擴散率。K_T 與溫度有關外，又與成分分子間的位置有關；若分子位與分子間距離的四次方成反比，則此種假想氣體的 K_T 等於零。氣體的溫度擴散可用於同位素的分離。此時，通常輕者向高溫處移動（$K_T > 0$）；但在極低溫時，則相反而向低溫處移動（$K_T < 0$）。

【溫室效應】（Greenhouse effect）

又稱大氣溫室效應（*greenhouse effect of an atmosphere*）。溫室之玻璃屋頂，可讓陽光之短波進入，但對來自土壤、植物等所含之熱及較長熱波則不傳導；行星大氣之作用，即具有此項效應。

太陽光和熱通過空氣時，並不使空氣發熱，但空氣則可從水及土地處吸收熱，故只能使表面生熱。空氣吸收由土地所發散之熱而熱起來。

由上述效應使地球有氣候變化，並使地球上之生命可以生存。月球無大氣，因此晝夜之溫度變化極端急遽，使生命存在之希望幻滅。

【溫差】（Temperature difference）

為氣溫的最高值和最低值之差。1日間的溫差叫做日溫差（日氣溫差）；一年間的溫差叫做年溫差（年氣溫差）。

【溫差發電機】（Thermoelectric generator）

若使電子冷卻過程反向進行而製成之發電機；因此能利用半導體以熱能發電。若在半導體的電路中移去電源，並加熱乙金屬，則半導體臨近乙端的電子，就具有較高的能量，而使它們的運動加速。這也就是說，當電子在半導體內作散漫運動時，它們將有遠離熱端而向另一端移動的傾向，於是電子就開始堆積在較冷的一端。此種由於溫差而移向甲金屬的傾向，漸漸為已堆積於此端電子所產生的電場所平衡，終使兩端間

產生一定電位差。換句話說，這個系統就形成一個電源。若將一燈泡接於兩端點之間，燈泡就會發光。

溫差發電機構造簡單，不需要使用任何機動裝置，就能把熱能直接轉換爲電能。爲了使輸出電能增大，乙金屬必須盡量加熱，因此製造溫差發電機的半導體，在高溫時的穩定性（*high-temperature stability*）必須十分優良。除此之外，它的一般要求相同於電子冷卻器的原料。有一種利用煤油燈的熱量發電的小型溫差發電機，荒僻地區的居民，把它做爲手提收音機的能源。此外並已有能量較強裝置的設計與核子反應裝置，共同爲人造衛星的電源，因爲它體型小而且十分可靠。

【溫差電偶】（Thermo-couple）

參閱“溫差電現象（*Thermo-electricity of temperature difference*）”條。

【溫差電偶溫度計】（Thermo-couple thermometer）

利用溫差電偶（*thermo-couple*）以測量溫度的溫度計，經常使用的有下列幾種：

1. 鉑（*Pt*）和鉑銠（*Rh*）——鉑銠有銠10％和銠13％兩種。銠10％者稱爲勒夏得列（*Lechatelier*）溫差電池，被指定爲國際溫標中，銻（*Sb*）熔點（630.5°*C*）和金熔點（1,063.0°*C*）之間的標準溫度計。在高溫接點處，電流從鉑向鉑銠方向流動。

2. 銅（*Cu*）或鐵（*Fe*）和康銅——銅－康銅被使用在200～400°*C* 之間，鐵－康銅則被使用在200～1,000°*C*之間。在高溫接點處，電流從康銅向銅或鐵方向流動。

3. 各若美、梟呂美——各若美爲鎳（*Ni*）80％和鉻（*Cr*）20％的合金。梟呂美爲鎳94％、鋁（*Al*）2％、矽（*Si*）1％、錳（*Mn*）2.5％、鐵0.5％的合金。冷接點爲0°*C*，在高溫接點處，電流由各若美向梟呂美流動。電動勢在100°*C*時約4.1 毫伏特。因價廉關係可用至1,400°*C*左右，以代替鉑、鉑銠。

4. 銥（*Ir*）和銥鉑（鉑50％）可用至2,300°C。

鎢（*W*）和鉬（*Mo*）－鎢（鉬25％）可用至2,600°C。

5. 在低溫時可使用者有金（*Au*）－銀（*Ag*）、鉬－德銀或金－德銀。

6. 電動勢特別大者，可用鉍（*Bi*）－銻。

【溫差電現象】（Thermo-electricity of temperature difference

將兩根不同的金屬導線的兩端分別連接起來，一頭加熱，另一頭冷卻，就會觀察到導線中有電流發生，這種現象叫溫差電現象。兩個接頭的溫度差愈大，導線中電流也愈大，電流方向與金屬線的性質有關。像這樣一對金屬所組成的機件，卽稱爲溫差電偶（*thermo-couple*），但利用此電偶來發電，將熱能改爲電能，仍嫌效率不大，除非使用半導體製成的溫差電偶，方能滿意。

【溫差電動勢】（Thermo-electromotive force）

又稱熱電動勢，係將不同的兩種金屬A和B接成廻路，並使其兩接點的溫度保持不同，則廻路中所產生電流之現象，稱爲則白克（*Seebeck*）效應。當金屬種類和接點溫度一定時，溫差電流的強度與廻路的電阻成反比，故此效應被認爲因一定的電動勢而引起，可解釋爲帕耳帖（*Peltier*）效應和湯木生（*Thomson*）效應的聯合結果。

設金屬A，B的帕耳帖效應係數爲π_{AB}，各金屬的湯木生效應係數分別爲σ_A和σ_B，則當兩接點的溫度各爲t_1和t_2時，溫差電動勢V爲

$$V=\left[\pi_{AB}\right]_{t2}^{t1}+\int_{t2}^{t1}(\sigma_A-\sigma_B)dt$$

通常V在t_2-t_1的範圍內可表示爲

$$V=a(t_2-t_1)+\frac{b}{2}(t_2^2-t_1^2)$$

a和b爲常數。因此若將t_1保持一定，則$t_2=-\frac{a}{b}$時電動勢變成極大，t_2稱爲中性溫度，而與t_2無關。

【溫差電動勢率】(Thermo-electric power)

若使溫差電偶(*thermo-couple*)的一接點溫度固定，對另一接點的溫度變化 1 °C 所生的溫差電動勢變化，稱爲溫差電動勢率。

在金屬 *A*、*B* 所成的溫差電偶高溫接點，若電流由 *A* 向 *B* 流動，則稱 *A* 的溫差電動勢比 *B* 大。將溫差電動勢率對溫度的變化繪成圖表的，稱爲溫差電圖(*thermo-electric diagram*)。

【溫帶性低氣壓】(Low pressure of temperate)

乃發生於溫帶地方的低氣壓，其發生的原因，是波狀的鋒所形成。

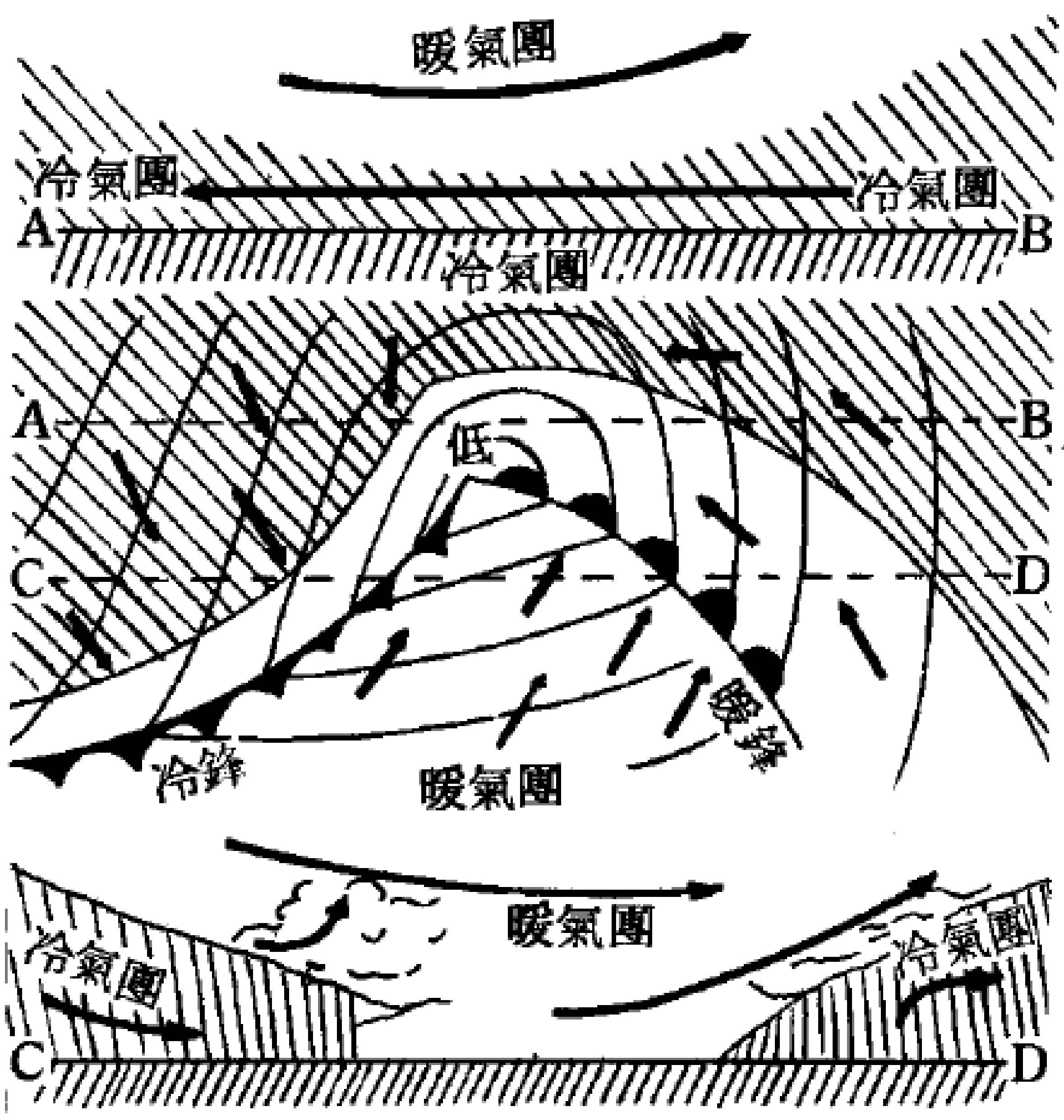


圖 13 — 93　溫帶低氣壓的發達與構造

低氣壓的南側有暖氣團，北側有冷氣團，其分界面有鋒。自低氣壓中心伸延有冷鋒，向東南有暖鋒伸延，鋒的區域即下雨，如圖 13 — 93 。

溫帶低氣壓自發生或減弱，其過程如下：

1. 暖氣團與冷氣團相接而成波狀的鋒。

2. 這個波狀的振幅擴大時，便發生伴有暖鋒、冷鋒的低氣壓。

3. 冷鋒追及暖鋒，暖氣團完全被擡高，即低氣壓開始變弱。

【準直管】(Collimator)

1. 或稱平行光管(如圖 13 — 94)內端有一凸透鏡，使外光從其外端焦點處之狹縫射入，至此而以平行光射出。

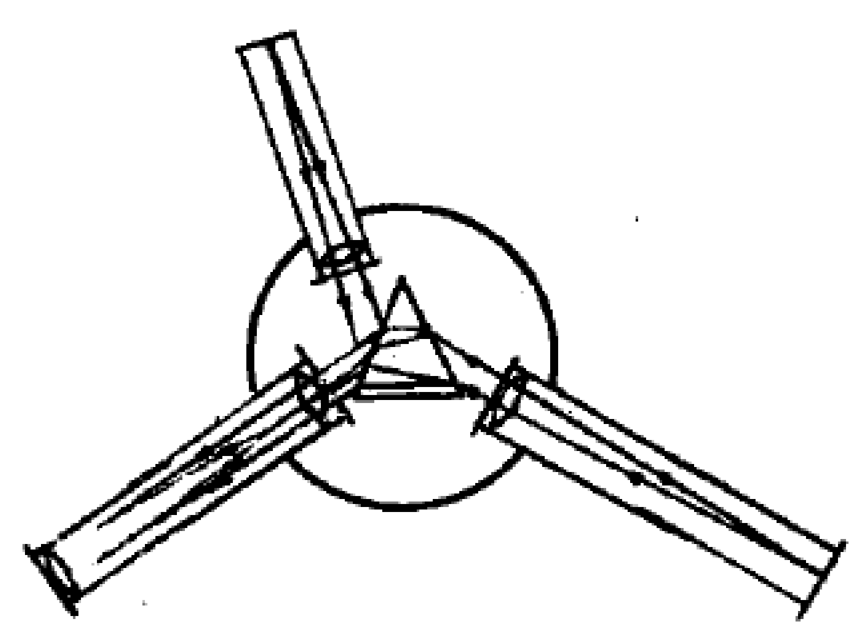


圖 13 — 94

2. 一種用來聚焦或圍控粒子射柱或輻射射柱，如X射線的設備。

【準流體燃料反應器】(Fluidized bed reactor)

一種反應器，其燃料大小的範圍從微粒到小彈丸狀，置於液體或氣體冷卻劑中，雖然燃料粒子是固體，但是能夠隨著冷卻劑流動，就好像是流體燃料一般，此謂之準流體燃料反應器。

【準粒子】(Quasi particle)

彼此互相作用的同種粒子系統中，因爲運動的自由度太多，情形非常複雜。通常用近似法（ *approximation* ）取其低能量的單一粒子激發態爲討論對象，這種激發態就稱之爲準粒子。此種準粒子態與不互相作用的同種粒子系統的低能激發態有相對應的關係。例如在長程庫倫作用的電子系統中，準粒子就可以說是一個電子和包圍在它周圍一圈的正電荷的總和。它的波動函數和其他性質都非常複雜，但它的作用對系統中其餘部分而言正像一帶 e^- 電荷的粒子，它的能量也可以 $\varepsilon(k)=\frac{h^2k^2}{2m^*}$ 展示，當然這裏m^* 和自由電子的質量不太一樣。

離子晶格的準粒子，就是聲子，自旋系統的準粒子就是磁子。

【準確度】(Accuracy)

表示與眞實或規則符合一致的程度，或免於錯誤或誤差（ *error* ）的程度，在測定物理量時，量度方法獲得數據的正確性程度，均稱爲準確度。物理量常以誤差表示其準確度，其單位可用測定量的單位，或用誤差對實測值的比率（百分數）表示。

準確度與精密度（ *precision* ）有別，例如六位的數值表比四位的表精密，但若六位的表誤差甚大，就難以比較其精密度。

【準靜態過程】(Quasi-static process)

一個處於平衡狀態的物系，我們可以用適當的熱動坐標來決定它的狀態。以氣體物系爲例，由於有狀態方程式的關係，只要確定P、V、θ三個坐標中之任何兩個量就足以確定氣體的狀態；設我們選取P、V

爲兩個獨立坐標，那麼物系的任一狀態都可以用PV圖上的一個點來表示；當然，PV平面上的任一點不一定有對應的一個平衡狀態存在。當外在狀況改變時，物系的平衡狀態可能破壞，或者變到另一個平衡狀態，這種狀態改變的歷程，叫做一個過程（*process*）。一般的過程，由於在變化過程中物系不一定時時處於平衡狀態，所以沒法把它的曲線在PV圖上劃出，至多只能確定起始狀態和終結狀態。不過，如果使外在狀態的改變減慢到最低限度，那麼物系狀態的改變很慢，幾乎時時都處於平衡狀態，因此，這種過程可以在PV圖上描出，這種過程叫做準靜態過程。可逆過程爲準靜態過程，但準靜態過程並不一定爲可逆過程。例如氣體在極慢的自由膨脹時爲準靜態過程，但此種過程並非屬於可逆的。

【煙囪】（Chimney）

除機車外，差不多所有蒸汽發動機都有一個很高的煙囪，這樣才可以保持鍋爐下方火的熱力。因爲煙囪裏面就是一個暖空氣柱及火中一些其他的煤氣。暖的煤氣上升後，才能使新鮮空氣進入火裏，來塡補已上升了暖煤氣的位置。進入火裏的新鮮空氣愈多，火燃燒得愈旺，熱力也就愈大。在煙囪裏升起的熱煤氣柱愈高，進入火中代替暖煤氣的新鮮空氣愈多，所以許多工廠都有一個高高的煙囪。

【煤】（Coal）

亦稱石碳，大約離現在二億七千萬年左右的時候，地質學上叫石碳紀，是地球上一個最主要的造煤時期。當時由於氣候條件適宜，地面到處繁殖著茂密的、高大的植物，在海濱和內陸湖裏，也生長著大量的低等動物、水草以及浮游動物等等。由於後來的地殼變動，這些植物就一批批地被埋在地面低凹地區、湖裏或者是海洋的邊緣地帶，這些被泥沙掩埋的植物，長期地受著壓力、地心熱力和細菌的作用，原來所含的氧氣、氮氣以及其他揮發物質等都慢慢地跑掉了，所剩下來的大部分都是“

碳”（這種作用一般稱爲“碳化作用”）。簡單地說來，煤就是經過這樣的碳化作用以及凝膠作用變來的，最先形成的便是泥煤。

在漫長的地質年代中，地殼經常會升降變動，當泥煤層下沉時，就披上了一件泥砂的外衣，這時泥煤層得不到充分氧氣，腐化活動慢慢停止了。內部溫度也隨深度加深而增高，並揮發掉大部分水份和氣體，上面的泥砂覆蓋物又給了它很大的壓力，泥煤就越來越乾燥，壓縮而硬化，變成了褐色的褐煤。

褐煤的質地疏鬆。含碳量較高，沒有光澤。裏面還能找到植物的遺體組織。但是褐煤還能變硬。當煤層上面的覆蓋物越來越厚，壓力越大，溫度越高，褐煤又失去了一部分揮發物，含碳量相對提高了，再也找不到一點植物遺體的痕跡。經過了悠長的歲月，褐煤又變成了黑色、堅硬的、有光澤的煙煤。當煙煤中的揮發物減少到２％～８％左右時，含碳量更高了，於是變成了無煙煤。有人計算過，每一尺厚的泥煤變質成無煙煤時，已被壓縮到一寸厚了。

煙煤和無煙煤由於它們的含碳量高，燃燒時發熱量大，所以在石油未被充分利用之前，煤是工業的主要能源。

除了當作燃料外，煤最主要的用途便是提煉焦碳，焦碳可作煉鋼時的燃料和還原劑，以及製造電極等。此外還可供製造人造石油、染料、苯、酚、萘、氮及銨、玻璃鋼，殘渣瀝青還可製成油漆、炸藥及防腐劑。

【煤氣發動機】（Gas engine）

煤氣發動機與蒸汽發動機略同。係在具有活塞之圓筒內，不加入水蒸氣，而加入煤氣與空氣之混合物，燃火使爆發，以其力促活塞運動，而對外部作功。此種發動機，不用水蒸氣，故不用鍋爐。其使用法係先以手轉飛輪，使活塞運動，再使煤氣吸入圓筒內，更壓縮煤氣，使之觸火焰而爆發，則活塞自動，而對於外部作功。同時燃燒後之廢氣，被排出筒外，復能吹入新鮮煤氣，而由與前同一之順序以作功。煤油發動機

的發動，與此相同，只是以煤油蒸氣代替煤氣。

【照明】(Lighting ; Illumination)

一般的照明，可分成直接照明、半直接照明及間接照明三種（圖13—95）。直接照明是光線由燈泡發出來，直接照到被照的物體表面，例如單一的吊燈、天花板上的燈、臺燈等。這種照明設備，是否有反射器，都無所謂。在半直接照明的情況下，吊在天花板附近的照明設備，有個半透明的底部，部分是不透明的。來自照明設備的光線，可以兩種方式到達室內的物體：(1)向下穿過擴散光線的底部，(2)照在天花板上，再被反射下來。在間接照明方面，照明設備是完全不透明的，沒有光線能向下穿過它，光線首先被照明設備的內面反射到天花板，再由天花板到達室內任一角落。

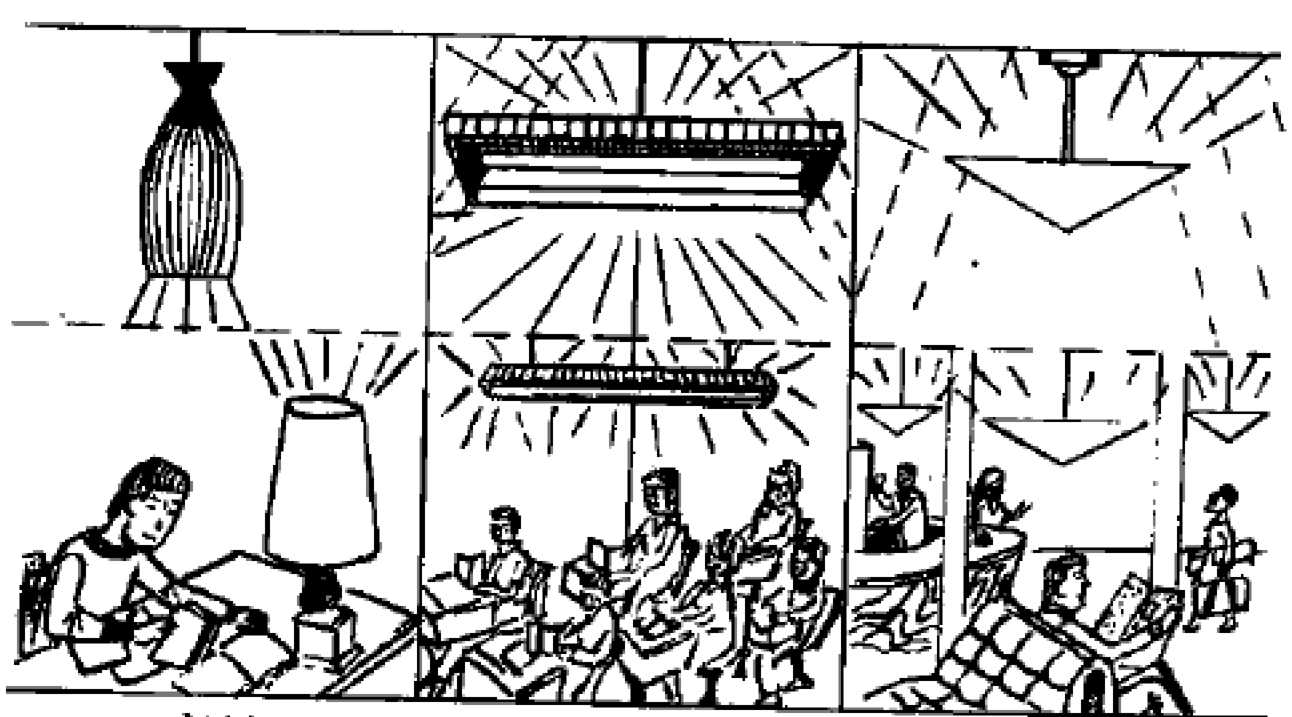


圖 13 — 95
來自人工照明的光，可以三種不同方式中之任一種獲得

在地板上的座燈，可以裝上幾個無遮蔽的燈泡，得到直接照明。也可以裝上乳白色的燈罩，得到半直接照明。這些照明的光源，可以用開關加以控制，可分別或聯合使用。座燈也可用做間接照明，所有的座燈，都用各式各樣的燈罩來幫助光線擴散，防止耀眼。

凡學校、禮堂、教堂、火車站、旅館和辦公廳的休息室，通常都採用間接照明。因為這些地方並不需要太強的光線，同時間接照明的效果柔和，對眼睛有益。

【照明水線】(Illuminating water line)

用來表演的照明噴泉（*illuminating fountain*），其原理是利用全反射，將光束局限於水線內面射出。英國物理學家廷得耳（*Tyn-*

dall)，曾用由此種實驗改成的遊戲，使他的聽衆驚奇不置。實驗時，令一股水線自一容器B（圖13—96）之短出水管A流出水線，初呈水平，繼呈拋物線狀。在正對出水管A之器壁上開一孔C，孔上裝一透鏡，俾使光線經過此鏡正射入出水管中。經過在水線內表面上的連續反射，同時由於入射角恆較水與空氣之臨界角（$48\frac{1}{2}^{\circ}$）爲大，光線遂在水線內循鋸齒狀的路線前進，且由於漫射的緣故而使水線顯得異常明亮。

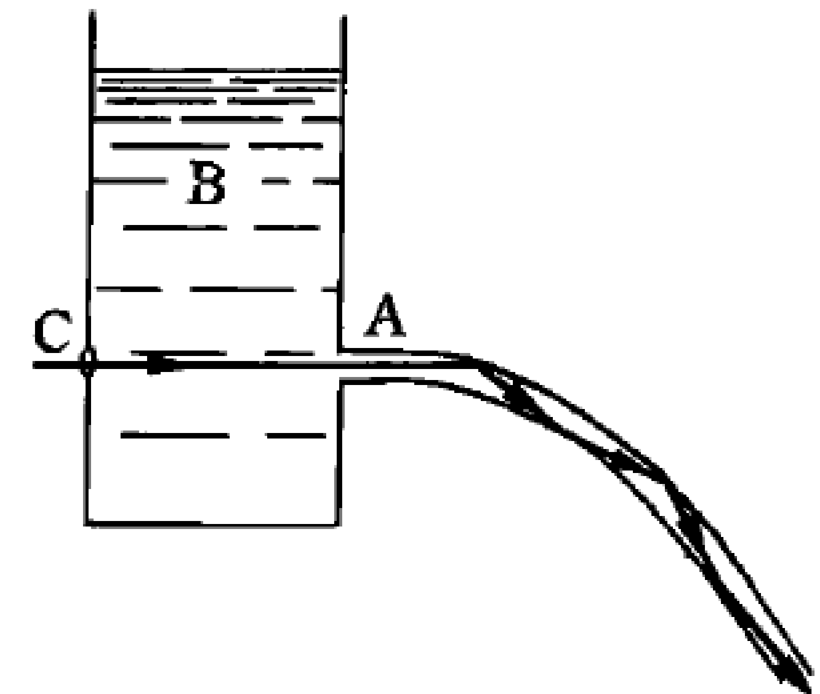


圖13—96　照明水線

同樣的，附於水下植物或水蝎身上的氣泡，亦是由於全反射的關係，才會銀光閃閃璀燦奪目。

【照明本領】(Illuminating power)

至光源單位距離處光之強度，謂之照明本領。如電燈之照明本領大於燭火之照明本領。

【照相】(Photograph)

即攝影。係將物體由照相機物鏡攝入膠片感光層上，經顯像的化學處理後即得物像的底片，利用底片即可在照相紙上曬印出影像來。

【照相乳膠】(Photographic emulsion)

照相乳膠是一種含有溴化銀（*AgBr*）的膠質。當帶電粒子穿過時可以激起溴化銀呈分解狀態。經過顯影後，微小的銀粒就顯現出來，記錄著粒子的軌跡。其對探測宇宙線的粒子是很有用的。

專用以探測帶電粒子的乳膠，通常稱爲核乳膠（*nuclear emulsion*）和普通的感光的照相膠片主要不同點，在於核乳膠內含的溴化銀的濃度非常高，並且它所生的銀粒非常細小（至0.1μ，觀察它時必須用顯微鏡）。核乳膠一般對光線並不太感應，通常是被做成薄片，用時將它們疊放在粒子當路的地方。

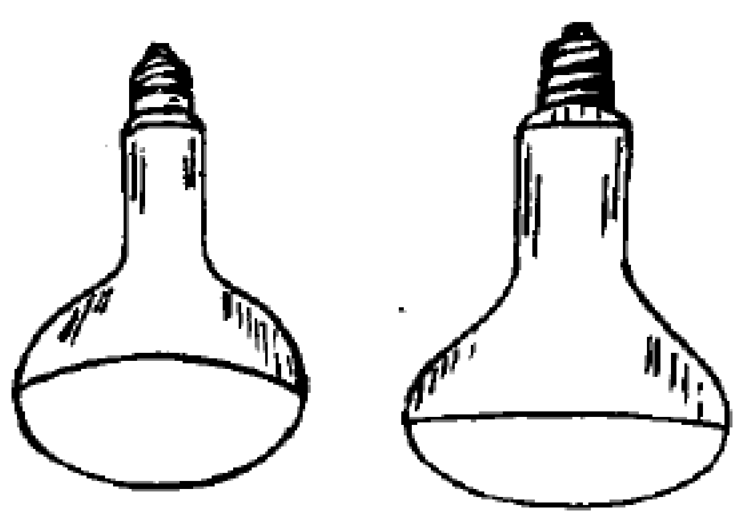
核乳膠的優點在於它的操作過程連續、有效體積相當大且爲固體可供應大量的反應物質。其缺點是我們無法選擇它記錄下某些特定的反應過程，而雲霧室由於膨脹的緣故，我們還可以對它加以有限度的控制。

【照相感光】（Photographic exposure）

由底片之感光程度，可測知光之強度，此方法適用於波長小於 $1.2 \times 10^{6} \mathring{A}$ 者。

【照相照明燈泡】（Lighting lamp of photograph）

照相照明燈泡爲白色連續光源，特別適用於室內照相攝影。大的與普通燈泡構造相同。爲了提高燈絲溫度，把電阻減低，並在玻璃內面塗敷硅土以提高光線的擴散性。有 150*W*（壽命 200小時）、250*W*（壽命 15 小時）、450*W*（壽命 3 小時）等各種燈泡。也有在球後部內面鍍鋁成爲反射鏡的。



(a)點照明型　(b)面照明型

圖 13 — 97　照相照明燈泡

照相照明燈泡又分爲點照明型與面照明型兩種。如圖13 — 97所示。

【照相儀器】（Photographic instrument）

照相儀器之要部爲暗箱，此箱內塗黑，中部以皮革折爲蛇腹狀，能自由伸縮，箱之前面，有一嵌凸透鏡之金屬圓筒，後面之框上，鑲置一面磨去光澤之玻璃板，用此攝影時，先將此箱架於三腳架上，令透鏡向欲攝影之物體，伸縮箱之中部，使物體之倒像明晰的映在後面玻璃板上，然後遮蓋透鏡，去玻璃板，易以感光板（即軟片），去透鏡之蓋，使光線照於軟片上，瞬時之後，復蓋透鏡，除去軟片，用顯像劑洗之，後復用定像劑洗之，曬印後，則物體之像現於照相紙上。

【照相機】（Camera）

西元十二世紀時，阿拉伯人阿爾哈森（*Alhazen*）已經描述機械眼的基本原理，這機械眼現在叫做照相機。在 1553 年，波塔（*Baptista*

Porta ）已經發明了第一部照相機。但它的結構非常簡單，所能做的僅僅是把景像的模糊影子投射在一個平面上。當時，並沒有照相底片，能用來永久的記錄某項景物。

直到 1822 年，照相的化學過程才改進到可拍攝良好照片的程度。但最早的照片仍是非常拙劣的，而且要花許多個鐘頭才弄出一張來。做出第一張照片的人爲法國人尼葉斯（ *J. N. Niepce* ）。他經過了許多年的試驗和研究，才獲得成功，爲照相術帶進了一個新的境界。

幾年後，另一個法國人德格（ *Louis J. M. Daguerre* ），對於照相的化學過程作了好些改進。1829 年，尼葉斯和德格組織了一個合股公司。經過十年艱辛的工作，在 1839 年，他們研究出第一套妥善的攝影方法。他們把照片印在金屬片上，這些照片叫做德格相片（用以紀念德格）或叫鐵板照相。

然而攝影過程仍嫌太麻煩和緩慢，英國人臺爾堡（ *Talbot* ）於 1839 年發明了在經過化學處理的紙張上製造照片的方法。其後雖經不斷的改進，但仍不能令人十分滿意。1889 年，伊士曼（ *George Eastman* ）在美國製造了一種柔軟透明的照相膠片，極像今天所用的膠片。這膠片在照相機內曝光後，可經一定的化學過程加以沖洗，最後用這些膠片可在照相紙上複印照片。

照相機和人的眼睛，在構造上和作用上都很爲相似。人的眼睛有鞏膜、水晶體、網膜和眼瞼，後者可闔合，擋住光線。照相機也有光圈（鞏膜）、透鏡（水晶體）、網膜和眼瞼。

在照相機中，光圈的作用和眼睛的鞏膜一樣，都用來改變光線所通過關口的大小。當光線很強時，眼睛的鞏膜收縮，使瞳孔變小，於是只准較少的光線進入眼睛內。同樣，照相機光圈可縮小，使光線進入較少。

照相機的眼瞼由一個可開闔的快門組成。當它打開時，光線進入照相機。當拍攝照片時，快門通常只開數分之一秒。如果開放時間過久，

照射在照相機網膜上的光線太多，照片將因曝光過度而毀掉。

照相機透鏡由玻璃做成，可加以調節，使它與照相機的後部接近些或遠離些，後部就是網膜所在。這種調節叫做對光（即聚焦）。在一架對光良好的照相機內，透鏡將被攝景物明晰清楚的影像，投射在照相機的網膜上去（如圖 13 — 98 ）。

照相機的網膜，是照相膠片，它像眼睛裏的網膜一樣，對光線很敏感。這膠片由透明的塑膠材料做成，表面覆著一層膠質。膠質含有大量的溴化銀（ $AgBr$ ）微粒，它是銀與溴的化合物。在每一平方吋的膠片上，有數百顆這樣的微粒。當光線落在微粒上，有的溴化銀分子分裂為溴原子與銀原子。如果光線微弱，只有很少分子分裂，但如果光線強烈，許許多多分子分裂開來。

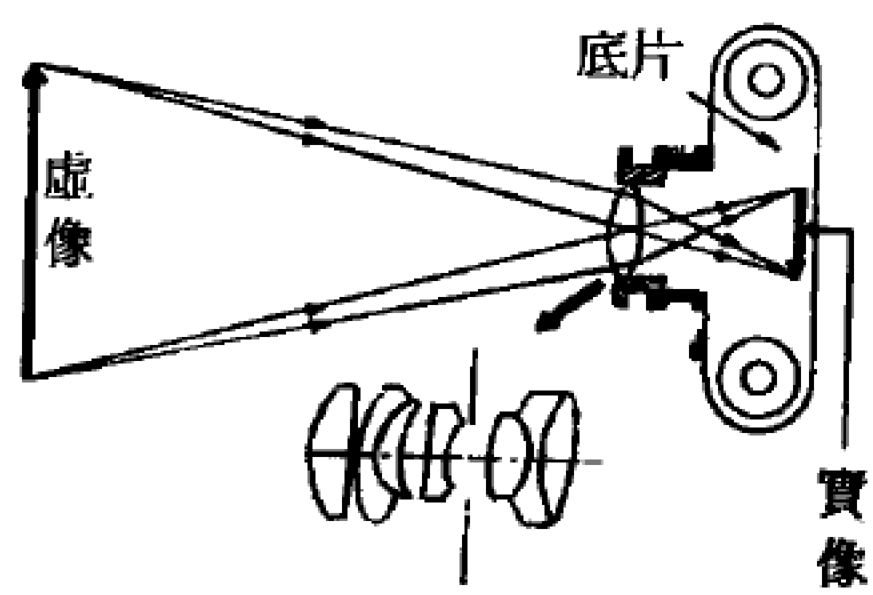


圖 13 — 98　照相機的原理

膠片在照相機內曝光後，從照相機內取出，放入顯影藥劑中。這藥劑使銀原子固定在膠片上。接著，膠片放在次亞硫酸鹽定像劑中冲洗，把所有未分裂的溴化銀分子洗去，只留下銀原子。最後，用清水洗滌膠片，再晾乾。

現在，膠片在照相機內被強光照射過的地方，變得非常黑。而被弱光照射處，則是透明的。在超級顯微鏡下，黑色區域顯出多量的銀原子。因為被攝景物的光亮部分，在膠片上非常黑，而景物較暗部分，在膠片上則是明亮的，所以膠片叫做“負片”。在它上面，一切都和原來景物相反。

相片用照相紙從負片曬印出來。塗在照相紙上的化學品與塗在膠片上的差不多。負片放在照相紙上，讓強光照過這膠片。負片上黑色的地方，很少光線透過。負片上透明的地方，透過的光線很多。不同的光線使不同數量的銀原子從照相紙上的溴化銀分子中分裂出來。接著，當照

相紙被放入化學藥水中洗滌處理，光暗出現在正確的位置上，從而製作出與原來被攝景象相符的照片。

【照度】(Intensity of illumination)

凡單位面積在單位時間內所受的光量稱爲照度。照度習用的符號爲E

$$E=\frac{F\text{（光量）}}{A\text{（垂直面積）}}\left(=\frac{4\pi I}{4\pi r^2}\right)=\frac{I\text{（光度）}}{r^2\text{（距離}^2\text{）}}$$

照度單位有下列三種：

1.勒克司(*lux*)——亦稱米燭光（ *meter candle*)。1 勒克司即距 1 燭光之發光體 1 米處正交面上之照度。 1 燭光就是鯨蠟標準燭。

$$\text{勒克司}=\frac{\text{流明}}{\text{平方米}}$$

2.輻透（ *phot*)—— 每平方厘米之被照面上入射 1 流明之光通量爲 1 輻透。

$$\text{輻透}=\frac{\text{流明}}{\text{平方厘米}}=10^4\text{ 勒克司}$$

3.呎燭光（ *foot candle*)——每平方呎之被照面上入射 1 流明之光通量爲 1 呎燭光。

其三者間之關係爲

$$\text{呎燭光}=\frac{\text{流明數}}{(12\times2.54)^2}\qquad \text{輻透}=\frac{\text{流明數}}{\frac{1}{(3.28)^2}}\text{ 勒克司}$$

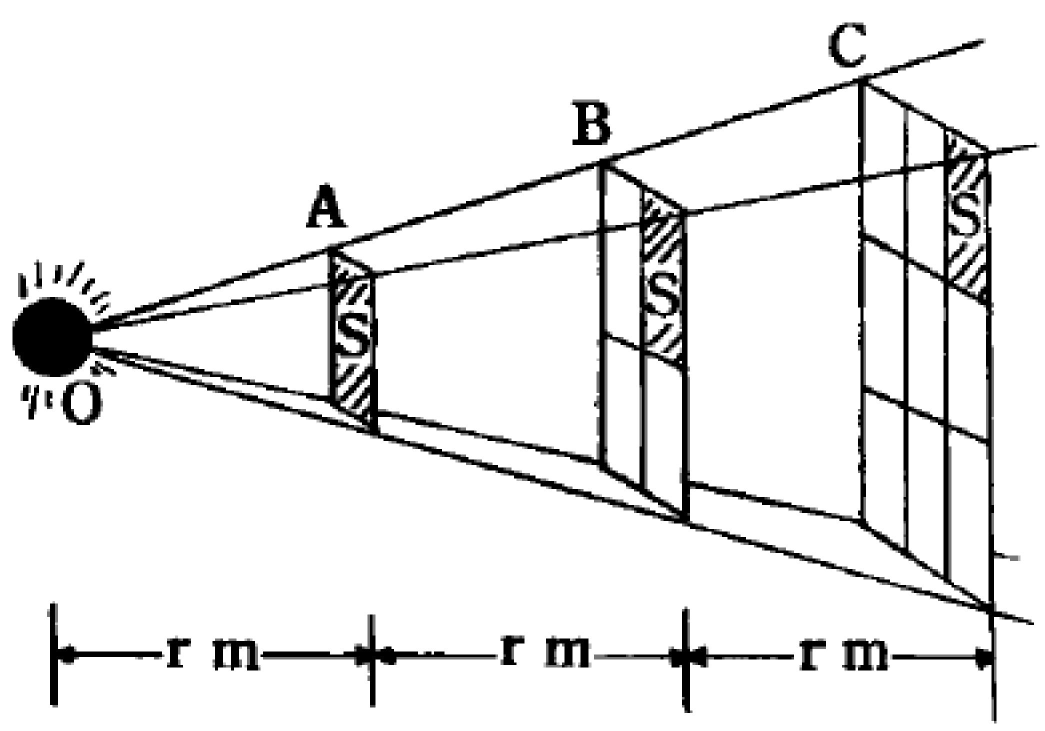


圖 13 — 99　光源的距離與照度的關係

宜於常人閱讀之照度爲 15 呎燭光。

有關照度的定律有下列兩種：

1.照度與距離平方反比律（ *law of inverse square*)

由　$E=\frac{I\text{（光度）}}{r^2\text{（距離}^2\text{）}}$

知之。圖13—99示光源的距離與照度的關係。地球上三帶四季之形成卽由此律。

2. 朗伯餘弦定律（*Lambert's law of cosine*）

$$E' = E\cos\theta$$

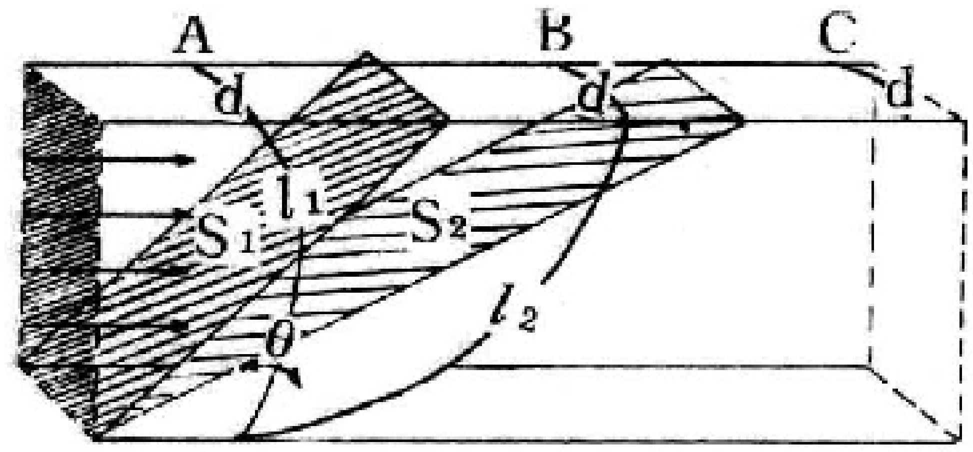


圖13—100 照度與面斜度的關係

式內E'與E分別表斜面與垂直面上之照度，θ表斜面與垂直面之夾角。圖13—100示照度與面斜度的關係。值得注意者爲光線垂直向一平面照射時，可得最大之照度，但如被照面與光線平行，則照度將降爲零。

諸光源同時照射一被照體時，其照度爲各光源對該被照體之照度的代數和：

$$\Sigma E = E_1 + E_2 + \cdots\cdots$$

稱爲照度之合成。

【照度計】（Illuminometer）

量照度之儀器稱爲照度計。把光的強度，變換爲電流之強度，測量電流的強度卽可知照在一個面上光的強度，把這應用到照相機上就是曝光錶。

【照射】（Irradiation）

暴露於輻射之下，如在核反應器中卽是。

【照射梭】（Rabbit）

一種用來迅速地把試樣從某處（如在研究用反應器中）推送到另一處（如放射化學實驗室）的裝置。照射梭通常包含一個小的鋁或塑膠的圓柱體，由空氣壓力在一長管中做推送工作。

【獅子星座】（Leo）

若作一假想線，聯二指極星而從背北極星這方面延長開去，就可以找到獅子星座（圖13—101）。在一月的黃昏時它還沒有升起。到二月

初旬，晚間約九點鐘才可看到。及至三月初旬七點鐘時，即在天空露臉。獅子星座中，在獅子的胸間有一顆一等星，叫做御女（*Regulus*），尾端有一顆也很明亮的星，叫做五帝座一（*Denebola*），星座的前半截，形如一把鐮刀。每年十一月半，此一星座均有流星雨。

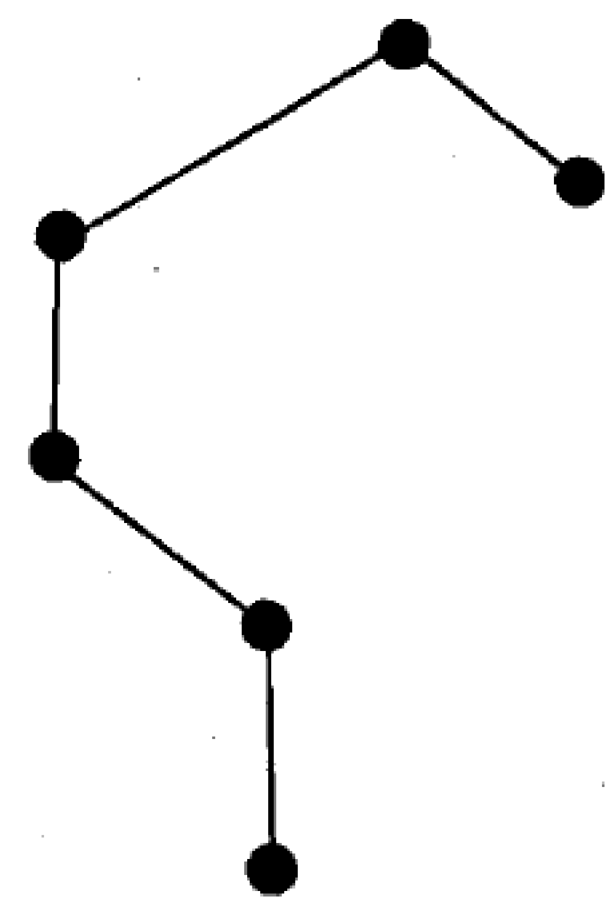


圖13—101　獅子星座

【瑞立】（Lord Rayleigh；John William Strutt 1842—1919）

英國物理學家，本名斯特勒特（*John William Strutt*），生於厄色克斯（*Essex*），受教育於劍橋大學之三一學院。1873 年繼承其父之爵位。1879—1884 年繼馬克士威（*Maxwell*）爲劍橋大學卡分地西實驗物理講座教授。1887 至 1905 年任皇家學院教授。對電磁學、聲學、光學、光學儀器、流體力學及黑體輻射等均有重大貢獻。1892 年發現空氣中的氮氣比由化學反應中產生的氮（*N*）爲重，證明有少量的惰性氣體氬存在。因此獲1904 年諾貝爾物理學獎。曾爲大英百科全書第九版寫“光學”一欄。1905至1908 年任皇家學會會長，1908 年任劍橋大學校長。1919 年六月三十日逝於威薩姆（*Witham*）。

【瑞立、詹士公式】（Rayleigh-Jeans formula）

能之均分定律對於比熱的理論並不完全適用，但它導出的比熱值，在不太低的溫度之下，與實驗大體是一致。分子的轉動自由度在低溫下得不到所應得的能量，這表示它們隨著溫度的降低開始違抗能之均分定律。分子的移動自由度符合均分定律，因比熱在低溫下的值仍然很接近 $3/2R$。因此可以推想，即使在空腔的情形之下，若干自由度在一定溫度下還是滿足能之均分定律的。要找出滿足均分定律的自由度，可以量度分配給每一自由度的能量，而不必測量空腔的總能量；先將分光計裝

在周壁的小孔上，然後量度來自空腔的光線的強度分佈。用分光計量得的，是頻率在ν與$\nu + d\nu$ 之間的光的強度，如此就可用實驗方法定出，分配給頻率在ν與$\nu + d\nu$ 之間的固有振動的能量。

假定能之均分定律正確無誤（我們已經曉得它與事實不符），即不難用理論方法計算此一光譜；要想做到這一點，僅須曉得頻率介乎ν與$\nu + d\nu$ 之間的固有振動數就行，因爲只要把此數乘以kT ，即得此一頻率範圍內的光的強度。

令$Z(\nu)d\nu$ 代表固有振動數（即自由度）。$d\nu$ 必須夠小，這樣強度在此一頻率範圍內的變動才能略去不計；同時$d\nu$ 又要夠大，否則不足以包含足夠的固有振動數；但也不能太大，否則自由度的個數即不與$d\nu$ 成比例。就實際的空腔輻射來說，這樣大小的$d\nu$ 確實是存在的。

爲了簡單起見。假定空腔是由一邊長等於L的立方體構成。就一兩端固定、長度等於L的絃而論，頻率在ν與$\nu + d\nu$ 之間的固有振動，其波長爲$2L$, $2L/2$, $2L/3$, ……，如圖13— 102 所示。又波長$2L/s$的固有振動，恆有（$s-1$）個波節。如以c代表此種絃上彈性波的波速，則固有振動的頻率應爲

$$\nu_s = s\frac{c}{2L} \quad (s = 1, 2, \cdots\cdots)$$

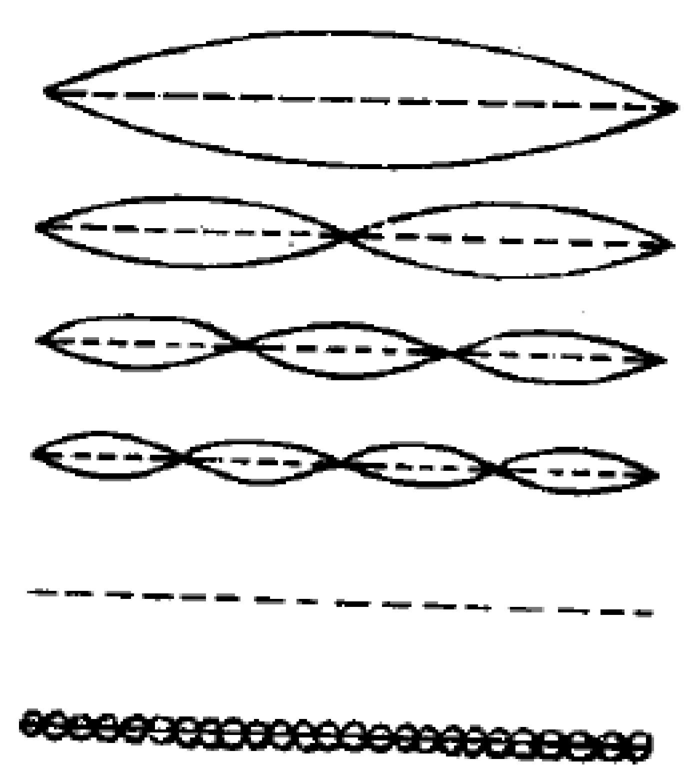


圖 13 — 102　弦的基準振動

也就是說，將基本頻率$c/2L$分別乘以1, 2, 3, ….，即得每一固有振動的頻率。由此可知，相鄰的固有振動間的間隔$\Delta = c/2L$是不變的，因此頻率介於ν與$\nu + d\nu$之間的固有振動數是

$$Z(\nu)d\nu = \frac{d\nu}{\Delta} = \frac{2L}{c}d\nu$$

在單因次振動中，對每一固有振動給予一正整數，使之依次排列起來；s 的物理意義是說，第 s 個固有振動具有 $s-1$ 個波節。

三因次振動中的波節不是一點，而是一平面，因此需要三個正整數，s_x、s_y、s_z。但三因次波節的型式太複雜了，所以我們就二因次振動的情形作一簡單說明。圖 13 — 103 表示一方形鼓膜的振動情形；從圖上可以看出，它們跟平面格子（*plane lattice*）的型式具有相同的特點，故每一固有振動皆可用兩個整數 s_x，s_y，使之依次排列起來。如將上述振動再加一個因次，即成三因次振動。換句話說，三因次振動的頻率可以下式表之：

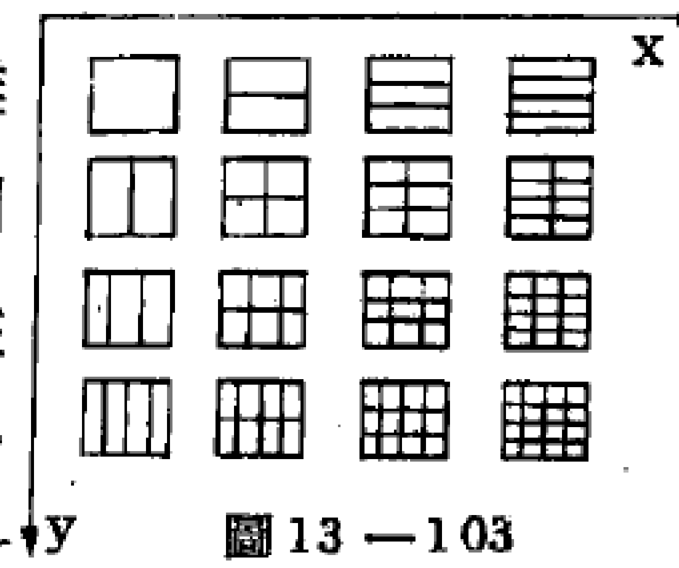


圖 13 — 103
方塊的基準振動

$$\nu_{s_x s_y s_z}=\sqrt{s_x^2+s_y^2+s_z^2}\cdot\frac{c}{2L} \qquad (1)$$

如用 x、y、z 代表三因次空間的直交坐標，則坐標等於 $x=(c/2L)s_x$、$y=(c/2L)s_y$、$z=(c/2L)s_z$的點，必與空間格子的某一點重合（因 s_x、s_y、s_z都是整數）；故該點至坐標原點的距離是

$$\sqrt{x^2+y^2+z^2}=\sqrt{s_x^2+s_y^2+s_z^2}\cdot\frac{c}{2L} \qquad (2)$$

將（2）式與（1）式比較一下即可看出，此一距離恰好等於該一固有振動的頻率。

利用（2）式，我們可以很容易的用幾何方法求得 $Z(\nu)$。因頻率在 ν 與 $\nu+d\nu$ 之間的振動數，等於 x、y、z 空間內半徑為 ν 與 $\nu+d\nu$ 的兩個球面所包圍的格子點數。又 s_x、s_y、s_z 都是正數，所以只要考慮第一象限就行。將第一象限的體積 $4/8\pi\nu^2 d\nu$，除以單位格子的體積 $\Delta=(\frac{c}{2L})^3$，即得

$$Z(\nu)d\nu=\frac{\pi\nu^2 d\nu}{2\Delta^3}=\frac{4\pi L^3}{c^3}\nu^2 d\nu \qquad (3)$$

在將上式用於黑體輻射之前，須考慮下列事實即：光是一種橫波，故每有一種節型（*nodal pattern*），恆有兩種偏振不同的振動與之對應；換句話說，每有一組 s_x、s_y、s_z，恆有兩種振動與之對應，故 $Z(\nu)d\nu$ 的值應等於（3）式右方的兩倍：

$$Z(\nu)d\nu=\frac{8\pi L^3}{c^3}\nu^2 d\nu \qquad (4)$$

將上式乘以 kT，即得空腔的光譜。上面計算振動數的時候，我們假定絃的兩端與膜的周遭是固定的；也就是說，振動體（振子）與環境之間沒有能量交換。所以就電磁振動來說，（4）式的 $Z(\nu)d\nu$，只有在空腔周壁均係完全反射面的情形下才能適用。如周壁係由完全反射面構成，則空腔與熱容器之間沒有能量交換，故空腔中開始時既有的振動情形保持不變；這樣一來，空腔與容器之間的熱平衡就永不會建立了。如在完全反射的周壁上開一小孔，空腔與容器之間即可藉此一小孔進行能量交換，最後達成熱平衡狀態。此外，由於小孔很小，固有振動的節型或頻率不會受到明顯的干擾，因此（4）式還是適用的。根據能之均分定律，在熱平衡的狀態下，每一自由度所獲之能量皆等於 kT，故頻率在 ν 與 $\nu+d\nu$ 之間的光所含之能量應為

$$E(\nu)d\nu=Z(\nu)kTd\nu$$

$$=\frac{8\pi^3 L^3}{c^3}kT\nu^2 d\nu \qquad (5)$$

上式代表整個空腔的能量分佈，可與分光計量得的光線強度的頻率分佈作一比較。

將（5）式除以空腔的體積，即得空腔單位體積的能量分佈：

$$U(\nu)d\nu=\frac{8\pi kT}{c^3}\nu^2 d\nu \qquad (6)$$

（5）或（6）式稱為瑞立、詹士公式。

上式係由能之均分定律導出，因此連帶推得的比熱是無限的。（5）式顯而易見的跟實驗不合，因（5）式對 ν 的積分，亦即空腔的總能量是無限大的。

【瑞立、瑞茲變分原理】（Rayleigh-Ritz variational principle）

瑞立、瑞茲變分原理主要的根據是

$$\frac{<\psi \mid H \mid \psi>}{<\psi \mid \psi>} \geq E_0$$

它是求基態能量的近似方法。式中 E_0 表基態能量。即 H 對任何狀態 $|\psi>$ 的預期值必大於或等於基態的能量，這是基態的定義。只有當 ψ 爲基態時等號才能成立。應用這關係，再用參數變分法，選用參數函數的 $|\psi>$，而計算 $<\psi|H|\psi>/<\psi|\psi>$ 的最小值，就應當是接近 E_0 的值。如選用的函數 $|\psi>$ 愈接近基態函數，則上式的不等亦應該愈接近最小值 E_0。因此，首先我們試選一 $|\psi>$，令 $|\psi>$ 包含一參數 α（例如 $\psi(x)=e^{-\alpha x^2}$），再變化此參數，求出 $<\psi|H|\psi>/<\psi|\psi>$ 的極小值。這方法的重要關鍵，就在於憑已知的消息及經驗選取參數及函數的形式，再去計算，若選取恰當，就會很快得出準確的結果，且反覆使用可得知其準確性。

求出基態後，仍然可以用這原理求出次低的能態。只要將試用的函數 $|\psi'>$ 選取與基態正交的函數，因不含有基態的因素，則由此所求得的 $<\psi|H|\psi>/<\psi|\psi>$ 的最小值，必是次低的能量狀態。照此方法，可以一階一階地求出各階能量的狀態。並且，如要求得更精確的能量值，亦可採用逐步漸近法使一步一步更接近於眞值，且能知道其誤差的大小。

【瑞立判據】（Rayleigh's criterion）

詳閱“圓孔繞射（*Diffraction from a circular aperture*）”條。

【瑞立盤】（**Rayleigh disk**）

瑞立盤用來測量聲音的強度，是聽力計（*audiometer*）的一種。它是把一直徑約$\frac{1}{2}$釐米的玻璃薄盤，用一石英絲懸掛垂直於水平面。當音波通過此玻璃薄盤時，使它產生轉動，對石英絲所發生的扭轉力的大小，與音波大小成正比，故可直接依扭轉力的大小爲刻度，度量音波的強度。

【瑞查生】（**Sir Owen Willams Richardson** 1879－1959）

1879 年四月二十六日生於杜茲柏立（*Dewsbury*）的英國名物理學家。1900 年劍橋大學畢業，1904 年獲劍橋大學藝術碩士及倫敦大學科學博士，1906 年赴美任普林斯頓大學教授，1914 年返英任倫敦大學教授迄 1944 年。瑞查生研究電子由加熱後的金屬發射情形，而發現瑞查生定律。1928 年獲諾貝爾物理學獎，1939 年封爵，1959 年二月十五日逝於奧爾頓（*Alton*）。

【瑞查生、杜西曼方程式】（**Richardson-Dushman equation**）

根據自由電子模型導出，以計算金屬表面熱發射（*thermal emission*）電流密度的關係式稱爲瑞查生、杜西曼方程式。在一般情況下，如不計量子反射作用（*quantum reflection effect*）而金屬表面假定在垂直於 x 坐標方向時，熱發射電流密度可由統計學方法寫爲

$$j=\frac{2e}{h^3}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{\phi}^{\infty}\frac{dp_y\,dp_z\,dE}{e^{(E-E_F)/kT}+1}$$

上式中 e 爲電子電荷，h 爲浦朗克常數（*Planck constant*），p 爲電子動量，E_F 爲費米能階（*Fermi level*），k 爲波茲曼常數（*Boltzmann constant*），T 爲絕對溫度，E 爲 E_0 及 $p^2/2m$ 之和而 ϕ 爲 E_0 及 E_F 之差，常稱爲功函數。當 $E-E_F\gg kT$ 時，上式可寫成

$$j=\frac{2kTe}{h^3}e^{-\phi/kT}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}e^{-(p_y^2+p_z^2)/2mkT}\,dp_y\,dp_z$$

積分後得

$$j=\frac{4\pi me\,(kT)^2}{h^3}e^{-\phi/kT}$$

此式表熱發射電流密度與溫度及金屬本身特性（功函數）之關係稱爲瑞查生、杜西曼方程式。

【瑞查生效應】（Richardson effect）

此效應乃物體受高熱（通常呈白熾化，只有少數幾種金屬和金屬鹽類在熔點之下即可）而放射電子或離子的現象。其放射速率隨溫度的增加而急速上升，其所產生的電流密度可以瑞查生、杜西曼（*Richardson-Dushman*）方程式描述，即

$$j=AT^2e^{-\phi/kT}$$

式中 j 表電流密度，以安培/厘米² 爲單位；A 是表面狀態常數，隨物質而異；ϕ 是表面的功函數，單位爲電子伏特或伏特；T 是表面的絕對溫度；常數 $K=1/11,600$。

【瑞茲並合原則】（Ritz combination principle）

按照量子力學的說法，在穩定狀況（*stationary condition*）下，原子只能有某些固定的能量。今作一圖（如圖13—104所示），垂直地劃分出能量。一條水平線，代表一個允許的能量值。當電子自由時，即能量爲正的時候，它可以是任何能量值，並可以以任何速率運動。但束縛時的能量就不能任意取了。原子的能量必須是一組允許值中的一個。

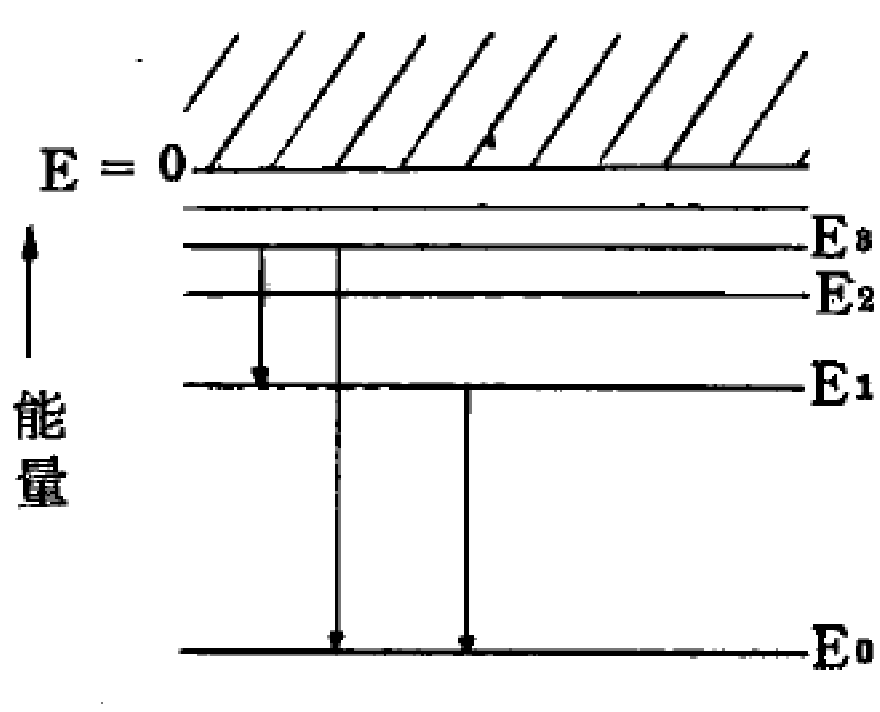


圖 13—104 原子能量圖

設這些允許的能量值，分別爲 E_0，E_1，E_2，E_3 等。如果原子起

初是在激發狀態（ *excited state* ）E_1，E_2 等其中之一，它不會一直呆在那兒，遲早會掉到較低的狀態中去，而且以光的形式輻射出多餘的能量。輻射光的頻率，可以由能量不滅及對量子的了解來決定。因此，當 E_3 能量轉變到 E_1 能量，釋出光的頻率是：

$$\omega_{31}=(E_3-E_1)/\hbar$$

這就是原子的一個特別頻率，它定出了一條發射光譜線，另一個可能的躍遷是從 E_3 到 E_0，它有著不同的頻率

$$\omega_{30}=(E_3-E_0)/\hbar$$

再一個可能性，是如果原子激發至 E_1 狀態，它能掉至基態 E_0，放射一光子，其頻率爲：

$$\omega_{10}=(E_1-E_0)/\hbar$$

此三種躍遷有一關係式

$$\omega_{30}=\omega_{31}+\omega_{10}$$

通常，如果發現兩光譜線，我們預期會找到另一條頻率爲兩者之和（或差）的線譜，而所有的這些譜線，可以藉著找出另一系列能階，使得每條線對應於某對能階的能量差，而得理解。這種光譜頻率的巧合，早在量子力學發現以前就被注意到了，它稱爲瑞玆並合原則。

【瑞阿】（ **Rnae** ）

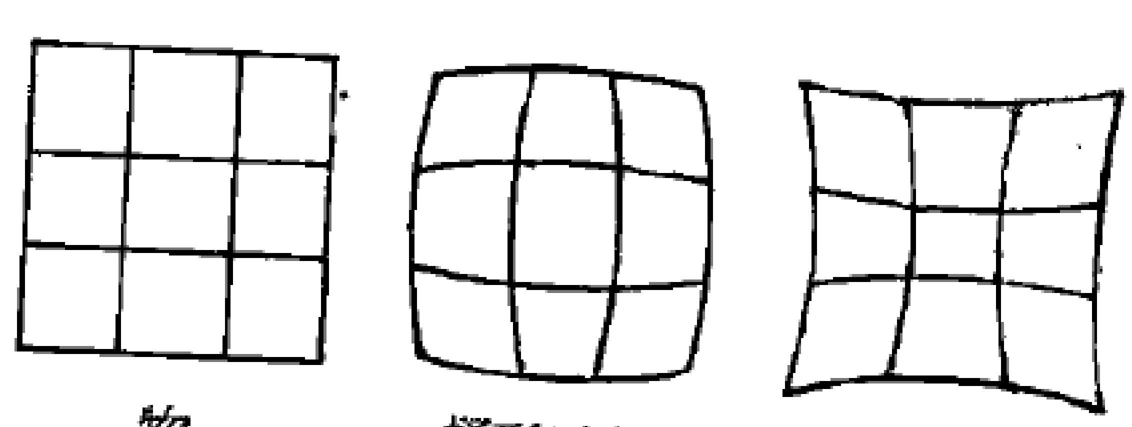
土星衞星之一。

詳閱“土星（ *Saturn* ）”條。

【畸變】（ **Distortion** ）

又稱失眞，可分三種：

1. 球面光學儀器的五種幾何像差之一，由於放大率隨至光軸距離而變化所生的像差。



物　　桶形畸變　　[illegible]畸變

圖 13—105

2. 在聲學中，指波形的改變。

3. 在電磁學中，指不必要的波形改變。

參閱“失眞（*Distortion*）”條。

【畸變波】（Distorted wave）

不論是正弦波、方形波或鋸齒波，經電子管放大後，除電流或電壓振幅已放大外，其波形與輸入未能完全相同。

【當地群】（Local group）



圖13—106

星雲常相聚成群，相互間相距約10^6光年。我們所處的星雲——銀河系，是當地群的一份子，當地群中最大的兩個星雲是銀河星雲和獵戶星雲（圖13—106）。圍在此大獵戶星雲左右的是十幾個小星雲。

【碘】（Iodine；I）

第七族鹵素元素，原子序爲53。碘爲黑褐色片狀或塊狀晶體，有金屬光澤及特異氣味，易成紫色蒸氣而揮發。比重爲4.98，熔點113.5°C，沸點184°C。溶於各種有機溶劑，不溶於水，但可溶於鹼金屬碘化物的溶液中。

碘由油井的滷水中以氯氧化後，吸收於亞硫酸溶液中或成碘化銀析出，亦可由海草灰或智利硝石的母液中加亞硫酸氫鈉使之析出。碘用於醫藥（殺菌劑、防腐劑）、有機物、催化劑、印刷術、石英鎢絲燈中的

充填氣、鈦及不銹鋼機械的特殊潤滑劑。

碘-131 爲碘之放射性同位素，放射 β 及 γ 射線，半衰期爲 8 天，用以示蹤治療甲狀腺腫、腦瘤及生化的示蹤劑。

【碘-131】(Iodine-131)

碘-131 之半衰期爲 8 天，是核分裂後短時間內（大約幾星期）產生最大輻射暴露（ *radiation exposure* ）的放射性核種。其原因是：核分裂產生大量的碘-131，且大部分經由食物有效的傳入人體。另一方面碘-131 易沉積於某些地方，使那地區受到高度的污染，直接進入人體的量很少，大都是由於人們食用牛奶而傳入的，且集中於人體小的腺體——喉嚨中。

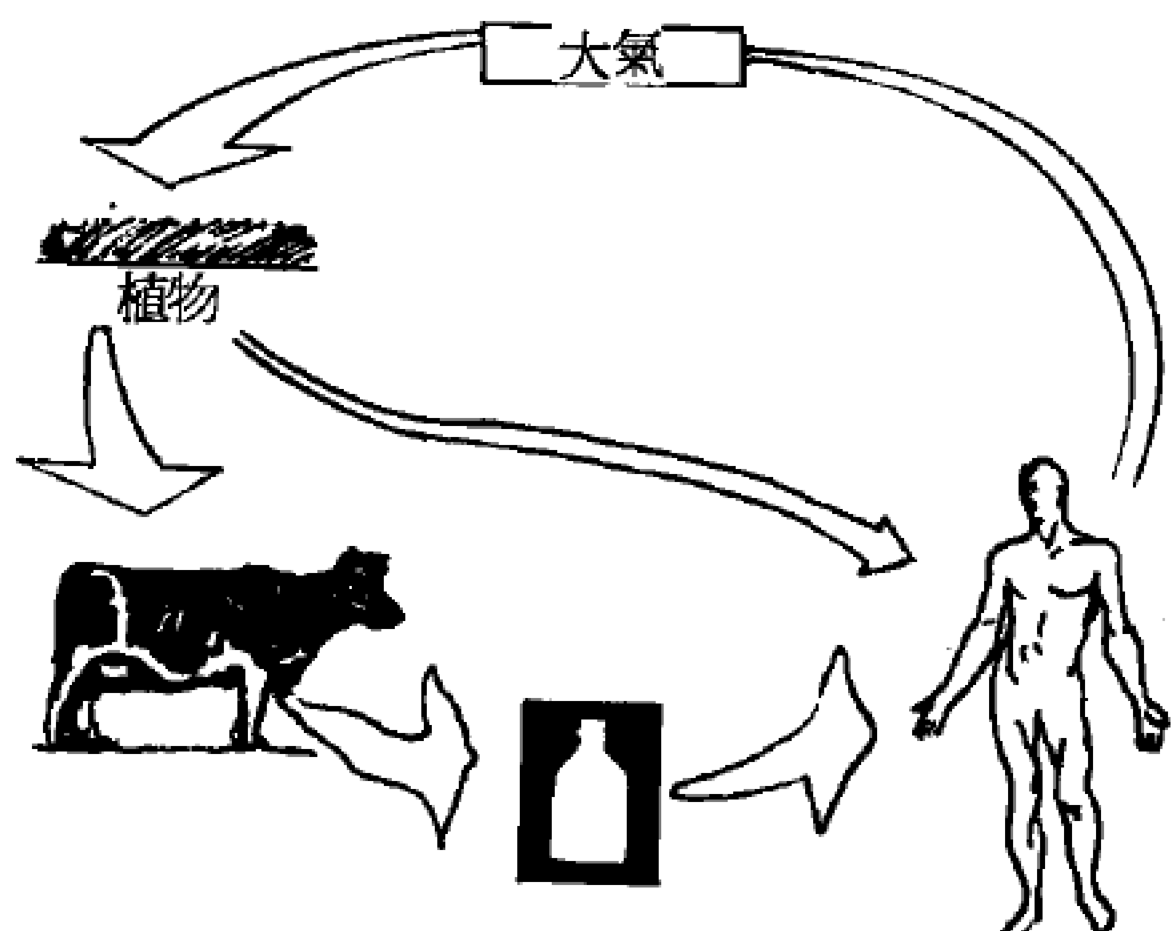


圖 13—107 落塵中碘-131 傳遞的途徑

碘-131 也是一種被廣泛使用的示蹤劑。可用來決定血液的體積、心臟的血液輸出量、血漿的體積、肝臟的機能、脂肪的新陳代謝、甲狀腺癌的轉移、腦瘤、甲狀腺的大小形狀與機能。

【碘-132】(Iodine-132)

碘元素聚集在人體的甲狀腺內，在那裏轉變成蛋白質鍵碘，然後慢慢釋放到血液去。碘-131 有 8 天的半衰期；相對的，碘-132 的半衰期卻僅 $2\frac{1}{3}$ 小時，這個表示對於同樣質量的碘-131 和碘-132，碘-132會比碘-131 放射較大的輻射能量，而很快地失去它的輻射能力，使得它釋放到血液後，對血液不會有多大的傷害。所以對於甲狀腺的治療，碘-132 的使用往往更令人滿意。

【硼酸液】(Boratic acid aqueous solution)

濕電解質電容器之電液。

【禁制光譜線】(Forbidden spectra line)

電子的躍遷，有時並不遵守選擇定則；這樣的躍遷稱爲禁制躍遷 (*forbidden transition*)。

原子光譜的譜線是由原子外層的電子，自某一高能態的軌道躍遷至另一能態較低的軌道所引起。一般說來，電子的躍遷要滿足下列條件：

$$\triangle l = \pm 1$$

$$\triangle J = 0, \pm 1$$

$$\triangle n = 0, 1, 2, \cdots$$

即是說，在電子發生躍遷現象時，電子由一軌道躍遷至另一軌道，唯有當其軌道角動量的改變爲一單位；其總角動量不改變或改變一單位時方有可能。但事實上常有例外；因此由禁制躍遷而產生的譜線稱爲禁制譜線；通常禁制譜線的強度均相當微弱。

【萬尼爾函數】(Wannier function)

又稱瓦尼爾函數，用密合法 (*tight-binding*)討論晶體中的電子態，雖然原理很簡單，但因爲密合法中電子態的波函數 (*wave function*)彼此並不垂直，所以利用其爲一定量的方法時，會發生困難。爲解決這問題，可將不同原子的原子軌道予以適當的線性組合，以消去重疊積分 (*overlap integral*)， 而使新組成的函數，彼此互相垂直，此新組成的函數即稱爲萬尼爾函數。與在位置 $\vec{l}$ 的原子和第 n 個能帶有關的萬尼爾函數可寫成

$$a_n(\vec{r}-\vec{l}) = \frac{1}{\sqrt{N}}\sum_k \psi_k(\vec{r})\, e^{-ikl}$$

其和是對該能帶中所有的 k 值求之，上式中之 $\psi_k(\vec{r})$是布勞克函數 (*Bloch function*) 。所以萬尼爾函數是位置的函數，在一布里元區 (*Brillouin zone*) 中，與波向量無關。

【萬用電表】(Multimeter ; A.V.O. meter)

是個複用的測量儀表，可用以測量電流、電壓和電阻。

【萬有引力】(Universal gravitation)

存在於宇宙間之一切物體，無論其距離遠近均互相吸引，其相互吸引之力謂之萬有引力。引力之大小與兩物體質量之相乘積成正比，而與其間距離之平方成反比，是謂萬有引力定律。係伽立略 (*Galileo*) 所創說，至牛頓 (*Newton*) 集其大成，遂風行於世。

茲令相吸引之二物體之質量爲m及m'， 其中心之距離爲r，引力爲F，則

$$F = G\frac{mm'}{r^2}$$

G爲比例常數，謂之引力常數。由實驗之結果得

$$G = 6.5 \times 10^{-8} dyne\text{-}cm^2 / g^2$$

地球亦爲宇宙間之物體，而其質量甚大，故在地上之物體，均受其吸引，而向地面下落，茲令地球之質量爲M，在地上物體之質量爲m，地球中心至物體之距離 (卽地球半徑) 爲R，則地球吸引物體下落之力如下：

$$F = G\frac{Mm}{R^2}$$

萬有引力卽宇宙引力，簡稱引力。

就通常的物體而言，萬有引力的效應太小，不能爲人們感覺出來，但在天體之運行上，萬有引力幾乎支配了所有星球的運行。

【萬有引力定律】(Law of universal gravitation)

任何質量爲m_1和m_2，相距r之二質點，其間的作用力爲沿質點間之連線的吸引力，其大小爲

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

【萬有引力常數】(Constant of universal gravitation)

目前公認的萬有引力常數值爲

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ 牛頓米}^2/\text{仟克}^2$$

精確至 0.003×10^{-11} 牛頓米^2/仟克^2，以英國工程制表示爲 3.436×10^{-8} 磅呎^2/勒斯^2。其因次式由 $G = \dfrac{Fr^2}{m_1 m_2}$ 可知爲：$L^3 M^{-1} T^{-2}$，其單位在

$$C.G.S. \text{ 制中爲} \frac{\text{達因（厘米）}^2}{\text{克}^2} \text{ 或 } cm^3 g^{-1} sec^{-2}$$

$$M.K.S. \text{ 制中爲} \frac{\text{牛頓（米）}^2}{\text{（仟克）}^2} \text{ 或 } m^3 kg^{-1} sec^{-2}$$

$$F.P.S. \text{ 制中爲} \frac{\text{磅達（呎）}^2}{\text{磅}^2} \text{ 或 } ft^3 lb^{-1} sec^{-2}$$

常數 G 能以圖 13 — 108 所示之最大偏向法測定。質量各爲 m 之二小球連於輕棒末端。此剛體啞鈴以垂直細纖維懸之，使其軸爲水平。置二質量各爲 M 之大球各在啞鈴之兩邊靠近末端。當大質量在 A 和 B 之位置時，二小質量被吸引，由上面看時，一轉矩施於啞鈴使之反時針轉動。當大質量在 A' 和 B' 之位置時，啞鈴順時針轉動。纖維扭轉時卽反抗此等轉矩。一小鏡附於纖維上，當球由一位置移動至另一位置時，纖維扭轉 θ 角度，觀測小鏡之反射光束的偏角可測得 θ 角。若物體質量和相隔距離以及纖維的扭轉常數已

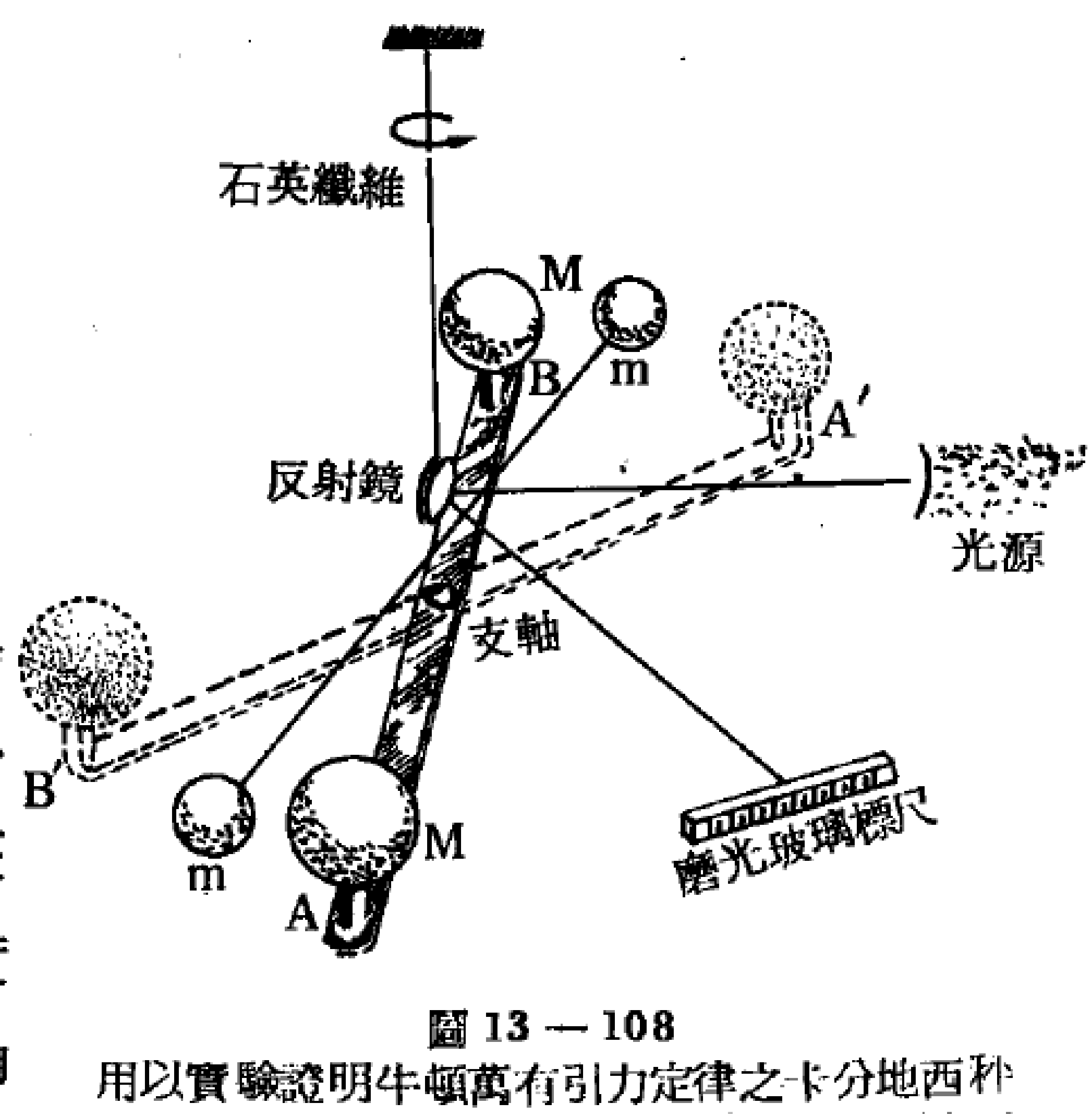


圖 13 — 108

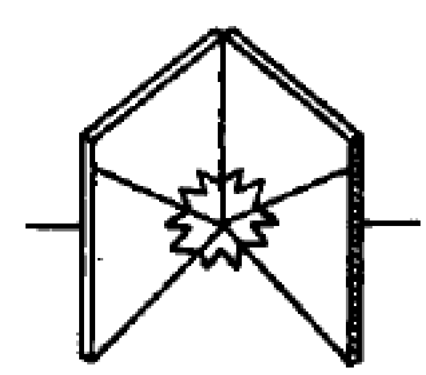
用以實驗證明牛頓萬有引力定律之卡分地西秤。質量m，m以纖維懸之。質量M，M可在穩定支架上轉動。連於m，m之鏡面將燈照之像反射在標尺上，因此可測得m，m之任何轉動

知，則可由測得之扭轉角度計算G。

【萬花筒】(Kaleidoscope)

若將一張紙折了幾層，然後在上面剪幾個圖形，當展開時，可得到一幅漂亮而有規則地重複幾次的圖案。而利用萬花筒，可做出更驚人的圖案。

將兩平面鏡併成一角鏡，中間放一物，則由於鏡面的反射形成六個影像。所置放的物件，可利用彩色的彈珠、色石、火柴或其他小玩意。這種用具，它的鏡中像在這種方式共同合併成爲一整個樣式的，稱爲萬花筒。若將數種彩色紙片置於鏡間，那麼可顯露出有規律的樣式，將紙片作相對的移動仍不致失去它一定的規律。將萬花筒旋轉，圖案便會連續地變化，像神奇的彩色影片。


圖 13 — 109

如果在鏡間置放物的位置上寫一字母W，並將鏡片移動成一定角度，使字母的開端及末尾與邊緣共同接觸，那麼即看出如一星形，兩鏡構成的角度愈小，則現出更多尖角，如圖13 — 109所示。

【稜鏡】(Prism)

側面相互傾斜的透明體，叫做稜鏡。兩面所成的夾角，叫做稜鏡角。稜鏡角爲直角者，叫做直角稜鏡。潛水艇中的潛望鏡，即是利用此鏡而製成，可以從水中窺見水面上的物體。

如圖13 — 110 玻璃板之兩面KM及KN 並不平行，而係斜交於稜邊K，則光之路線立即發生變化。如將此玻璃體再加一面MN，即得三稜鏡。K稱爲稜鏡之折射稜。當光線自空氣進入玻璃時，在A點向法線N_1N_2 的一邊折射，其在稜鏡中的方向爲AB。光

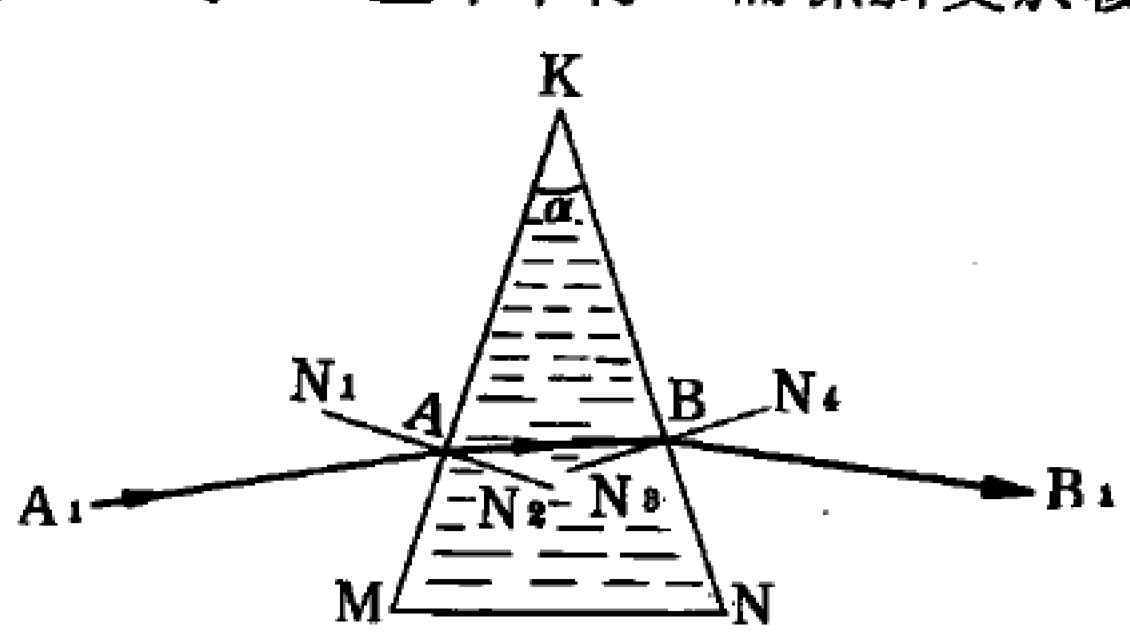


圖 13 — 110　稜鏡

在B點反過來自玻璃進入空氣，且向離開法線N_3N_4的一邊折射，其方向遂變爲BB_1。這兩次折射並不像在平行玻璃板中那樣，相互抵銷了它的作用，而是相反地，在B點更使其在A點業已發生過的方向變化加甚。因此光在透過稜鏡時，會離開折射稜而偏向。

形成折射稜之兩面所夾的角α，卽所謂稜鏡角；此角愈大者，光線之偏向亦愈大。稜鏡的型別很多。其主要的用途是(1)光線的小角度偏向——狹角折射稜鏡。(2)大角度偏向和色散——分光計、折射計。(3)改變光線方向，以全反射而倒置或正立影像（有時亦可鍍銀以反射）。(4)其他用途如偏振、成雙像、光度計頭等。

【稜鏡之折射】（Refraction of prism）

將一單色光線沿畫紙畫出，並指明其方向。在此光柱間安置一小角度稜鏡（卽謂角度在10與15度間），且畫出折射線之方向。移去此稜鏡，連接各線，相互交合，測定偏向度（*deviation*）D，以及放映機與稜鏡產生之角度A。察見對於小角度稜鏡$D=(N-1)A$，其中N爲稜鏡之折射率，其值爲1.520。

若在此光柱間安置一具有60度角之稜鏡（選用質地密緻的火石玻璃）——必須在光線放映機之單仄縫前安置一綠色濾鏡，以消除其他光譜色。依折射邊緣之平行軸，旋轉稜鏡，察見偏向角達一最小值，然後漸次增大，卽將稜鏡做連續的旋轉。測定稜鏡在偏向度爲最小，且沿稜鏡面之邊緣畫鉛筆線痕求得稜鏡之位置。在畫紙上，入射光線及折射光線之途徑中做兩個記號，連接各該點，畫線，於是與稜鏡面表示線相交。在此等交點處畫稜鏡面之法線，且測定入射角及出射角以及偏向角度，則見在偏向之角度具一最小值時，入射角及出射角相等。故可測得該數值，而該稜鏡之約略折射率可由下式求得：

$$折射率=\frac{\sin\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

若以白光照明單仄縫，將屏幕置於射出之光柱中，約距稜鏡若干距離，則見有一光譜出現。

【稜鏡之最小偏向角】（The smallest angle of deviation of prism）

如圖 13—111 所示，因光線經過稜鏡，產生偏向，故人眼所見的光源位置與原來的有所不同。在圖 13—112 中射入稜鏡之光線 A_1A 上，釘以兩枚揷針 N_1 及 N_2。如從射出光線 BB_1 的方向看去，我們便會在這個方向內看到針 N_1 及 N_2。再用兩枚揷針 N_3 及 N_4，就可定出射出光線 BB_1 的方向了。將入射線及射出線延長使之交於 S 點，二者在 S 點所生成之角 δ，稱爲光線通過稜鏡之總偏向角。

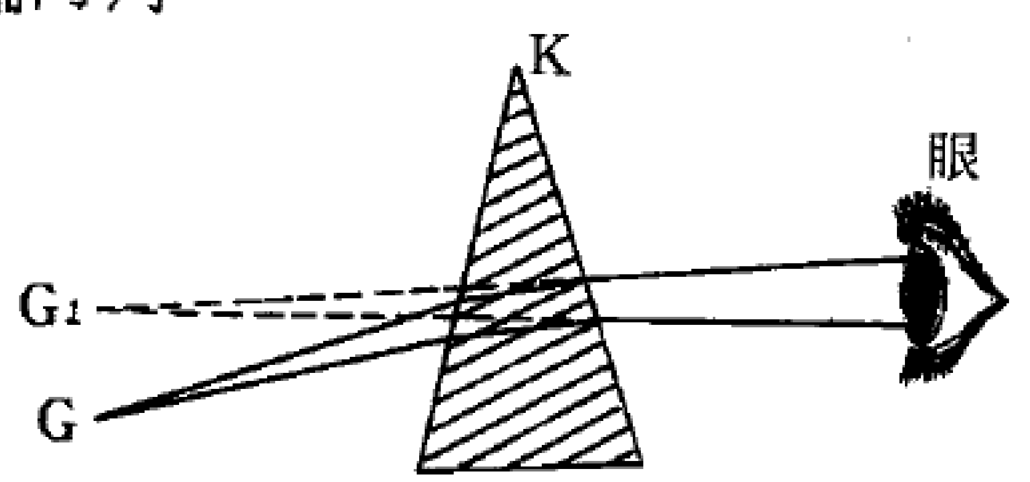


圖 13—111
光線遠離開稜鏡折射稜之偏向

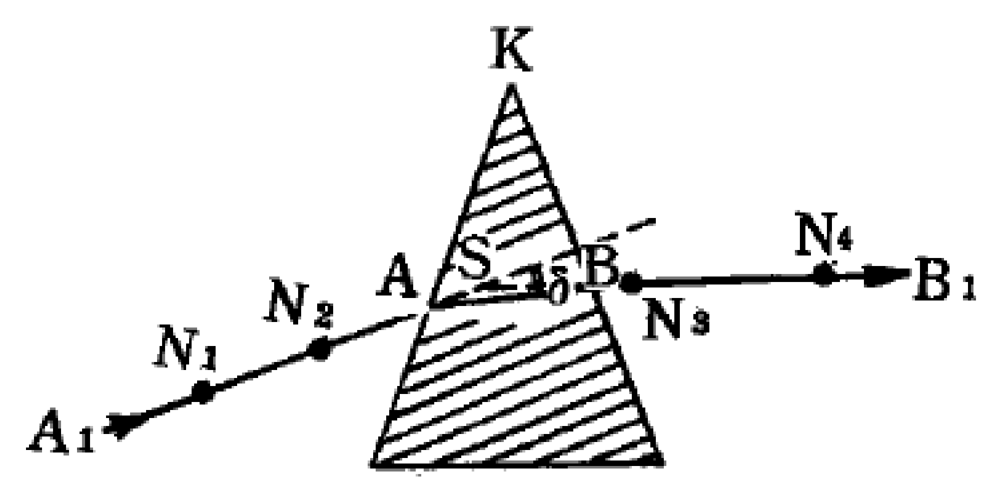


圖 13—112
光線經過稜鏡之總偏向角

以不同的入射方向作實驗，即得不同的總偏向角 δ。當入射線 AA_1 與出射線 BB_1，對於等分稜鏡角之平面 KE 爲對稱時，偏向角 δ 之值最小，稱爲最小偏向角（圖 13—113）。

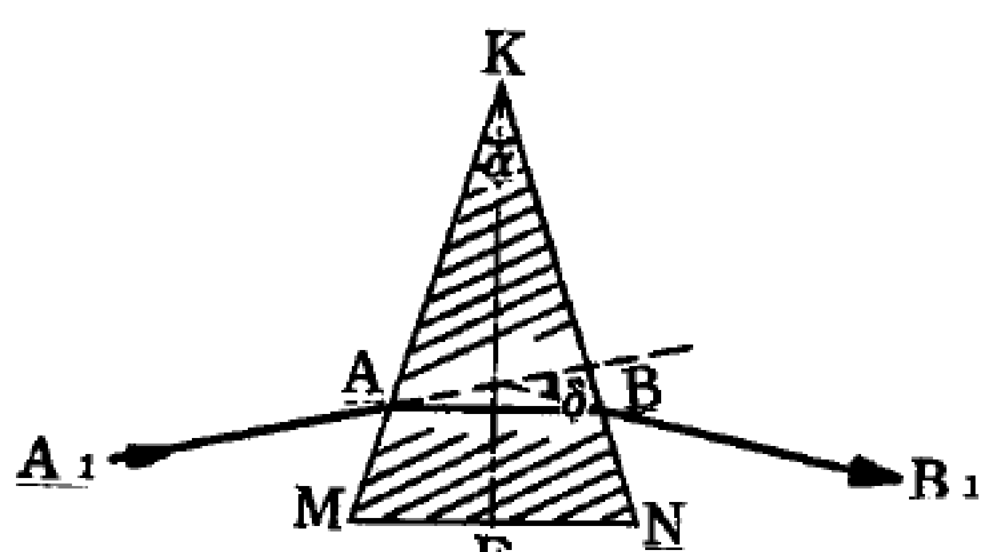


圖 13—113
光線通過稜鏡之最小偏向角

如稜鏡之兩側面 KM 與 KN 相等，則該稜鏡爲一規則稜鏡。在此情形下，進入玻璃之光線 AB，在發生最小偏向時，係平行於稜鏡之底面 MN

。

【稜鏡光譜】(Prismatic spectrum)

如圖13—114 所示，一束太陽光線通過暗室窗板的一條狹縫 S_P，射在稜鏡 P 上，P 的折射稜係與狹縫的方向平行。也可用弧光燈的光代替日光。稜鏡的折射作用，使光線朝離開折射稜的一邊偏向(亦即折向稜鏡底)，在第二面紙屏(Sch) 上形成光斑，但紙屏上並非出現一個簡單的白色光斑，而是一條彩色的光帶，平行於狹縫的方向，即平行於稜鏡的折射稜。此光帶主要是由紅、橙、黃、綠、藍、靛(深海軍藍)、紫等七色組成。根據實驗，紅光偏向最少，其他各色光的偏向則愈近紫色者愈大。此整個色帶名爲光譜。如此發生之色稱爲光譜色，以別於在物體表面上因光線反射所生的物體之色(簡稱體色)。

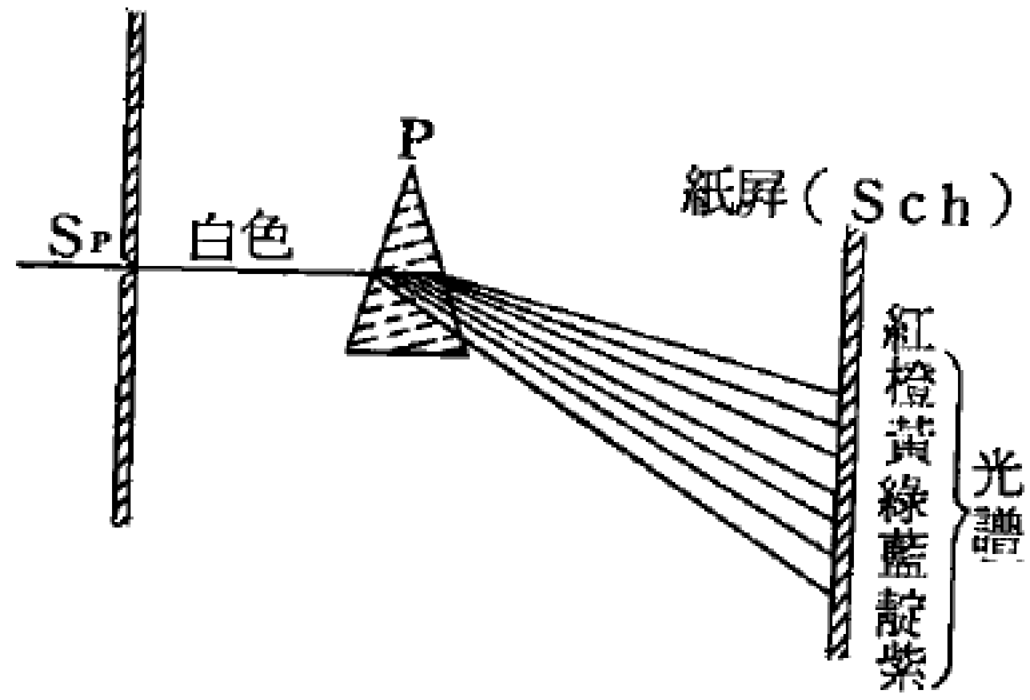


圖 13—114
牛頓的基本實驗
(白光分析成七色的光譜)

牛頓認爲光譜色之成因，是由於稜鏡之作用。他認爲實驗中所發現的一切色光，都是太陽(弧光燈同此)的白光中所有的。不過每一色光皆由稜鏡以不同方式折射及偏向，紅光偏向最少，紫光最強。故在某一種玻璃製成之稜鏡中，白光之每種色光對其均有其不同之折射率；紅光最小，紫光最大。此種白光通過稜鏡時分爲七色光的現象，稱爲光之色散。所謂光之色散，如用另一種說法，便是由於不同各色的光具有不同強度之折射所致。

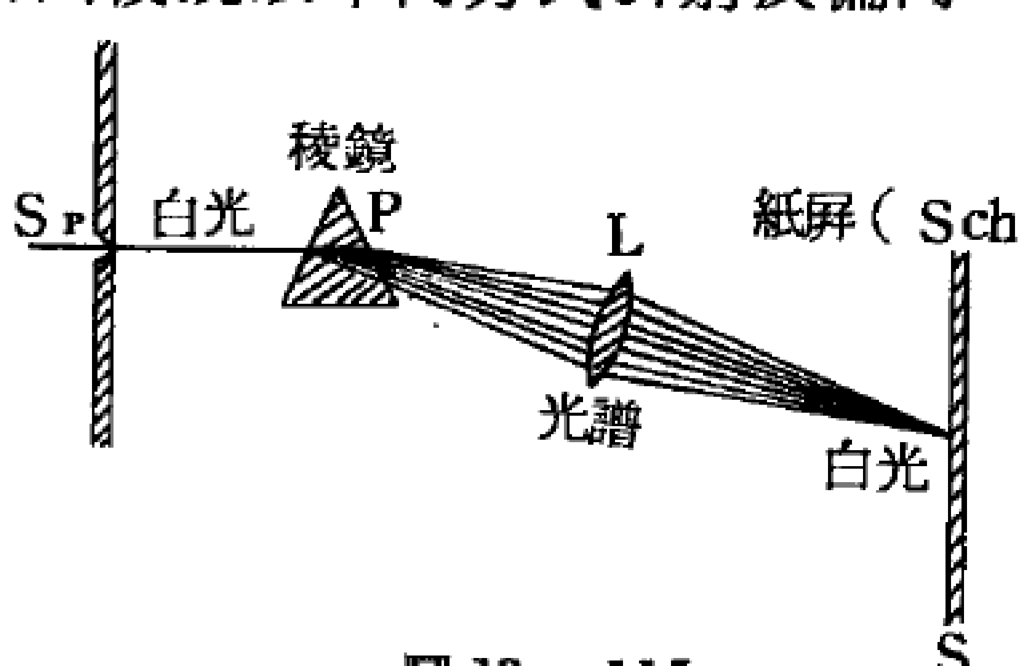


圖 13—115
光譜色複合成白光

假如原來的白光依此方式可以分析成爲光譜色，則反過來也一定可由光譜色複合成爲白光。圖 13 — 115 所示，由稜鏡 P 所生之有色光束，經過會聚透鏡 L，再集合於紙屏（ Sch ）上某處。光譜卽行消失，取而代之者是狹縫的白色之像。由此可知，光譜色複合之後，必又再成爲白色。

實驗時，只有從狹縫中射來的光通過稜鏡後才能發生色散現象。因爲假如縫隙較寬，則會有較大數量的相鄰光線分析成光譜色，於是又互相重疊而現白色。僅在縫隙的像之兩邊，光譜重疊的不完全，故一邊略現紅色，另一邊略現藍色。

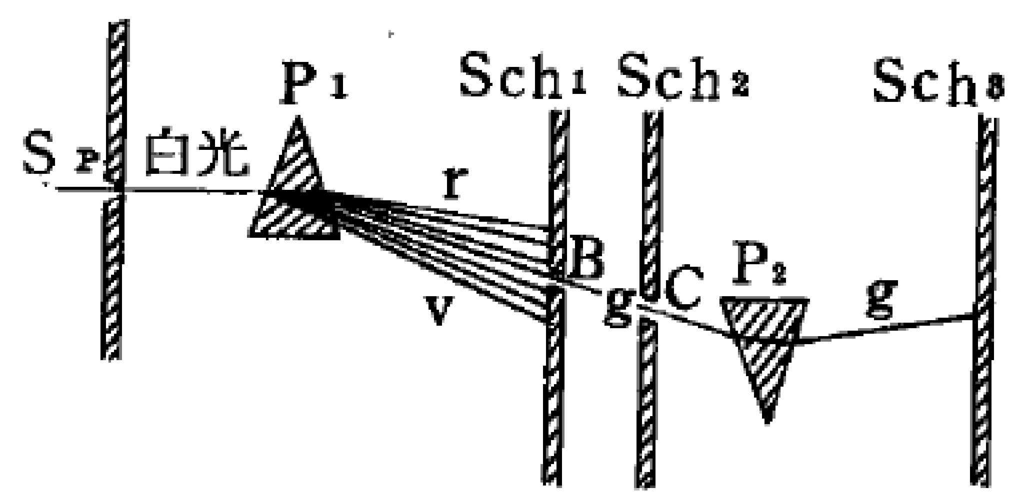


圖 13 — 116
光譜色之不可分性（牛頓之十字路口實驗）。

光譜色是不可分析的，如圖 13 — 116所示。牛頓曾將此實驗稱爲十字路口實驗，也就是“決定性實驗”的意思。實驗時先使白光經過第一屏 Sch_1 上的一條狹縫 B，通過稜鏡 P_1 產生光譜 $r-v$， 再從中任選一種色光，例如綠光 g，使其通過第二屏 Sch_2 上的縫隙 C，射向第二稜鏡 P_2。 此一稜鏡確能引起綠光之偏向，但綠光在第三屏 Sch_3 上所顯示的，並不再發生新的色散。將第一稜鏡 P_1 稍微轉動， 卽可依次使每一種色光，循一定方向 BC 射進稜鏡 P_2 中。 每種情況均證明單獨的光譜色是不能再加以分析的。此一實驗同時又重新證實，紫光的折射及偏向最強，紅光最弱。光譜中每一單獨之色是不能繼續加以分析的，故稱爲單色或純色。

在此實驗中，由稜鏡 P_2 在第三屏 Sch_3所生狹縫之像，有時仍會表現或多或少之擴大。這是因 Sch_1 上的縫隙 B 仍不能完全排除其他各色光而只讓一種純單色光通過，換句話說，通過 B 的光大致上雖屬一色，但還是有濃淡上的細微差別的。故到了稜鏡 P_2 當然免不了再來一次細微之分析。所以要用稜鏡來製造完全的純色光或單色光是有相當困難的

。

【稜鏡角】(Prism angle)

詳閱“稜鏡 (*Prism*) ”條。

【稜鏡角的測定】(Measurement of prism angle)

稜鏡角度之測定所需要之精確度爲指定角度之弧度之五分以內，但在頗多場合其精確度要求在弧度之若干秒。

對此等測定最適宜之方法爲用一後反射望遠鏡與一有刻度圓周之水平桌相聯合，此種測角器 (*goniometer*) 如圖 13 — 117 之圖解所示。望遠鏡上安裝一小側管，管中有一十字線，由此而來之光線被反射至望遠鏡，再經物鏡使成平行，由待測稜鏡之面後反射，且聚焦於冉士登 (*Ramsden*) 目鏡之平面中，該處有一第二十字線 (距離 AB 及 BC 安置成相等) 。因此，欲測 DEF 角，十字線 A 之物像由 DE 面接收，而由 EF 轉向，每一場合在刻度圓周上得角度之讀數，稜鏡角度卽旋轉稜鏡臺讀出讀數。望遠鏡及稜鏡臺應嚴密安置在同一的基礎上，且圓周應精密刻度，但大多數場合，一般讀數均以弧之 30 秒爲滿足。

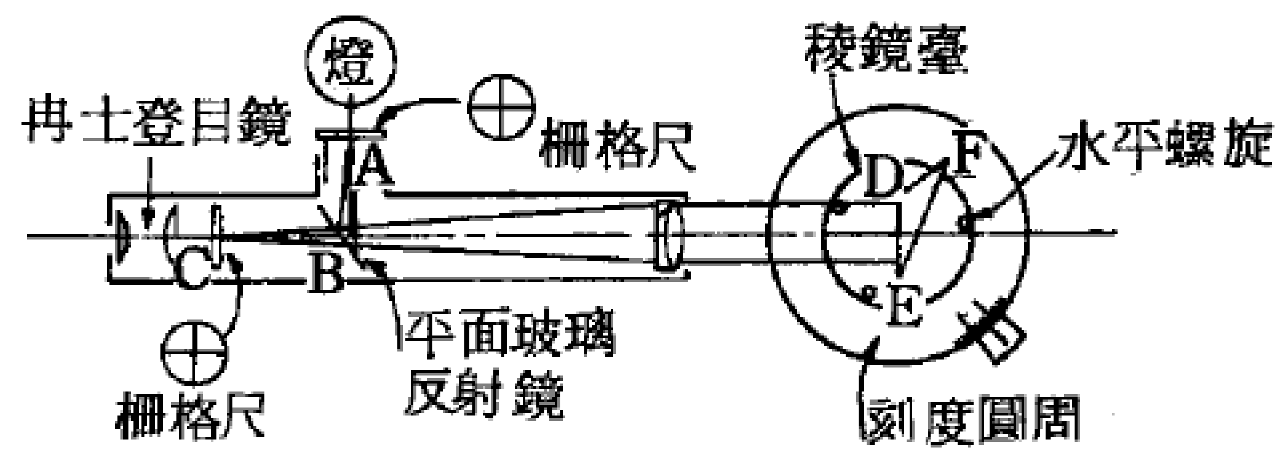


圖 13 — 117
測角器 (圖解)

【稜鏡雙筒望遠鏡】(Prismatic binocular)

通常在望遠鏡的目鏡和物鏡間，插入兩個直角稜鏡 (如圖 13 — 118) 。光線由物鏡射入，在稜鏡內經四次全反射，可將倒像轉正，應用時常爲雙筒，故稱爲稜鏡雙筒望遠鏡，如圖 13 — 118 。這種望遠鏡管筒較

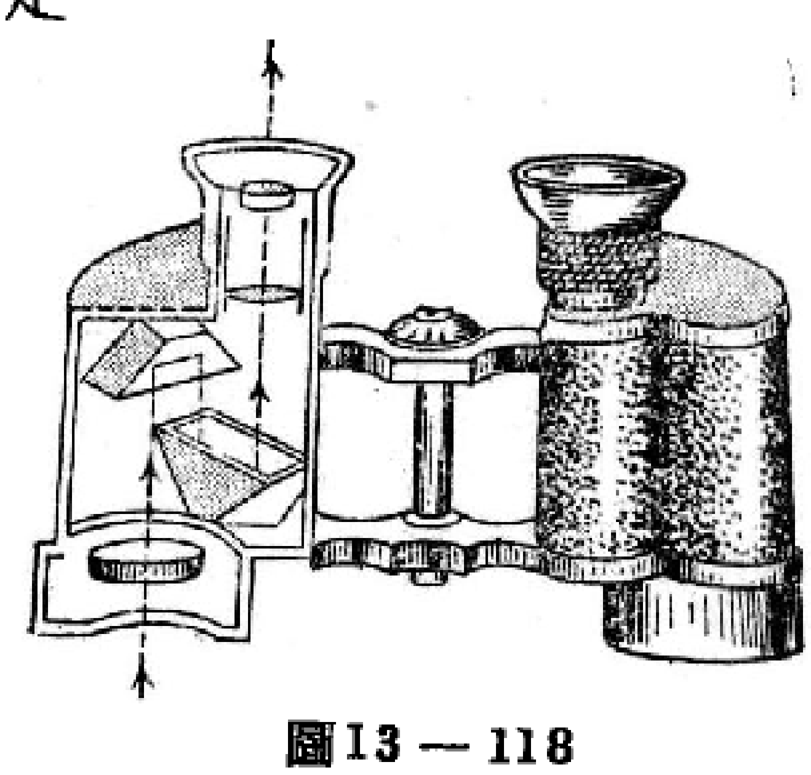


圖 13 — 118
稜鏡雙筒望遠鏡

短，攜帶方便，而且視場較大，有立體感覺。

雙筒式望遠鏡較單眼型望遠鏡的主要優點爲能用雙眼觀看，且保持雙眼的體視本領（*stereo-power*），增加物體的立體感。

【稠密和稀疏波】（Wave of condensation and rarefaction）

聲波在介質中傳播時，介質的局部密度作間歇性的增加（稠密）或減少（稀疏）。這種局部密度的波動稱爲稠密和稀疏波。

【稟賦傳導性】（Intrinsic conductivity）

除在低溫時外，高度純淨之半導體常現稟賦傳導性，又稱內稟傳導性。此與雜質導電性（*impurity conductivity*）不同。以稟賦溫度範圍作爲一半導體之電性尚未經晶體中雜質作實質改變之溫度範圍。電子能帶結構之特性導致稟賦傳導性之情形示如圖 13—119 。在絕對零度時，假設一空缺傳導能帶，以一能量間隙E_g與一滿裝之價帶隔開。於溫度增高時，電子經熱激發而自價帶至傳導帶。在傳導帶中之電子與價帶中所遺之空缺能態，卽洞，均構成導電性。於溫度低於稟賦範圍時，電性則受雜質之控制，故稱雜質導電性或外加導電性（*extrinsic conductivity*）。

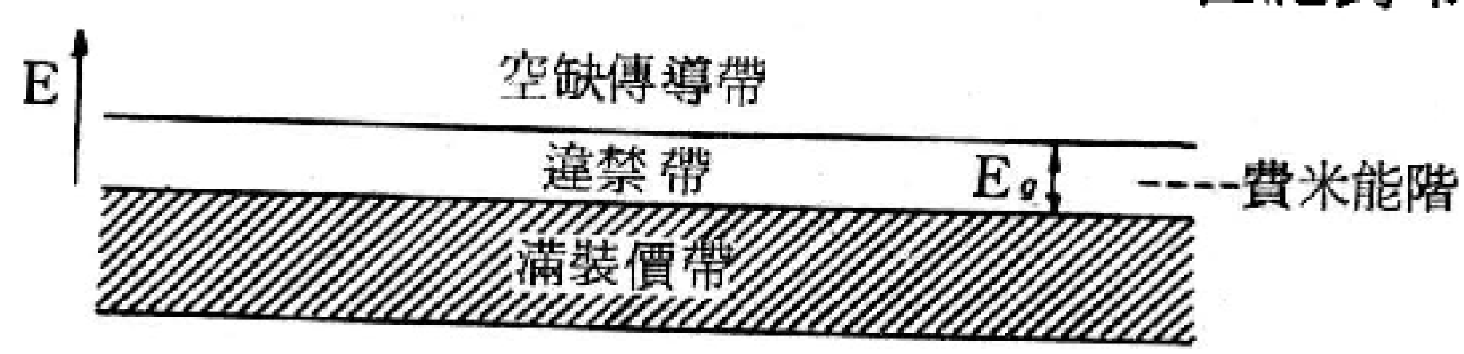


圖 13—119

稟賦傳導性之結構。在 0 °K時，導電性爲零，在價帶中之一切能態均裝滿，在傳導帶中之一切能態均缺空。當溫度增高時，導電性增加，此因電子卽經熱激發至傳導帶，於是變爲可移動者。

參閱“內稟半導體（*Intrinsic semiconductor*）”條。

【經度】（Longitude）

是用來表示地球上東西方向的位置。通過地球南北極和某一點的平面，叫做該地方的子午面。包含地球上的某地點P和地軸在內的子午面，以及通過英國格林威治（*Greenwich*）天文臺的子午面所形成的角度，叫做該地點的經度。連接同經度地點的線，叫做經線（或子午線）

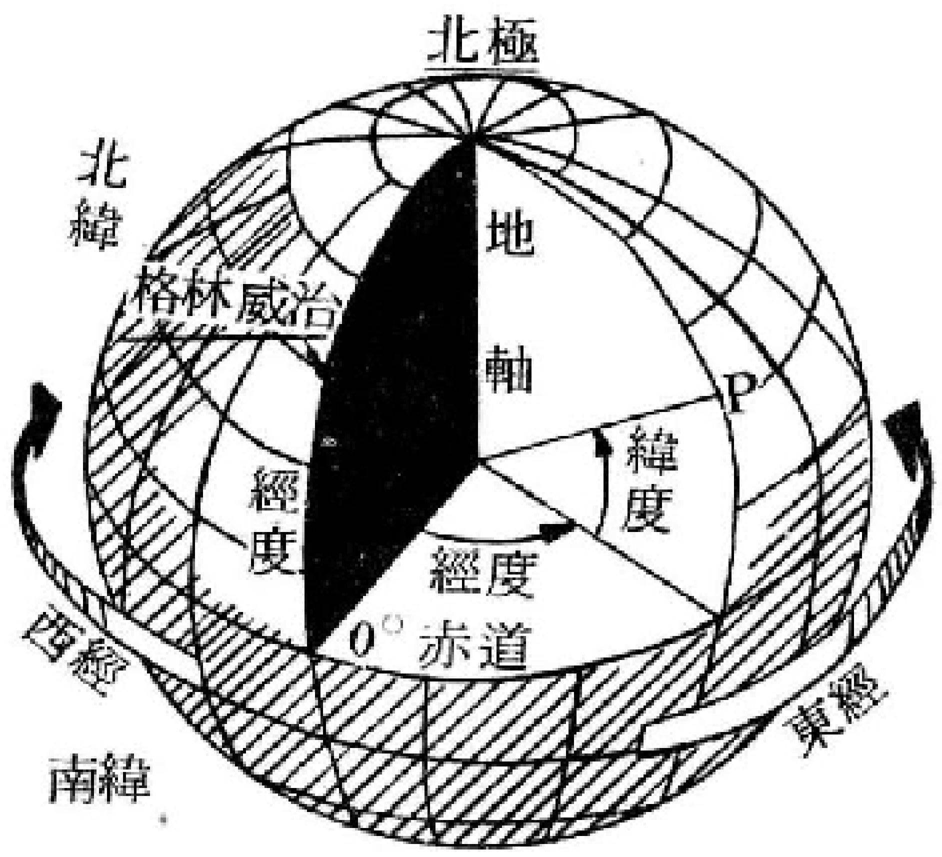


圖 13 — 120　經度和緯度

。

以通過格林威治的經線（格林威治子午線）當做經度 0°，向東量到東經 180°，向西量到西經 180°。東經 180° 的經線和西經 180° 的經線是共同的一條線。我國在格林威治的東邊，所以都是東經若干度。經度差 1°，在赤道上的距離約 111 km，在北極的距離爲 0 km。

圖 13 — 121 所示，是從天空向下看的地球。日光照著這球的一半；另一半是黑暗的。二個子午線或理想圈圍繞地球，在北極上相交成直角而分地球爲四等分。在此圖中假定午時的太陽恰正在赤道之上。地球由西向東而轉，地面上的每一點均輪流迎向太陽，好像太陽在天空中由東向西而行。所以受光半球的赤道上某一點爲正午時，凡地面上轉入陽光的部分有較早的時刻

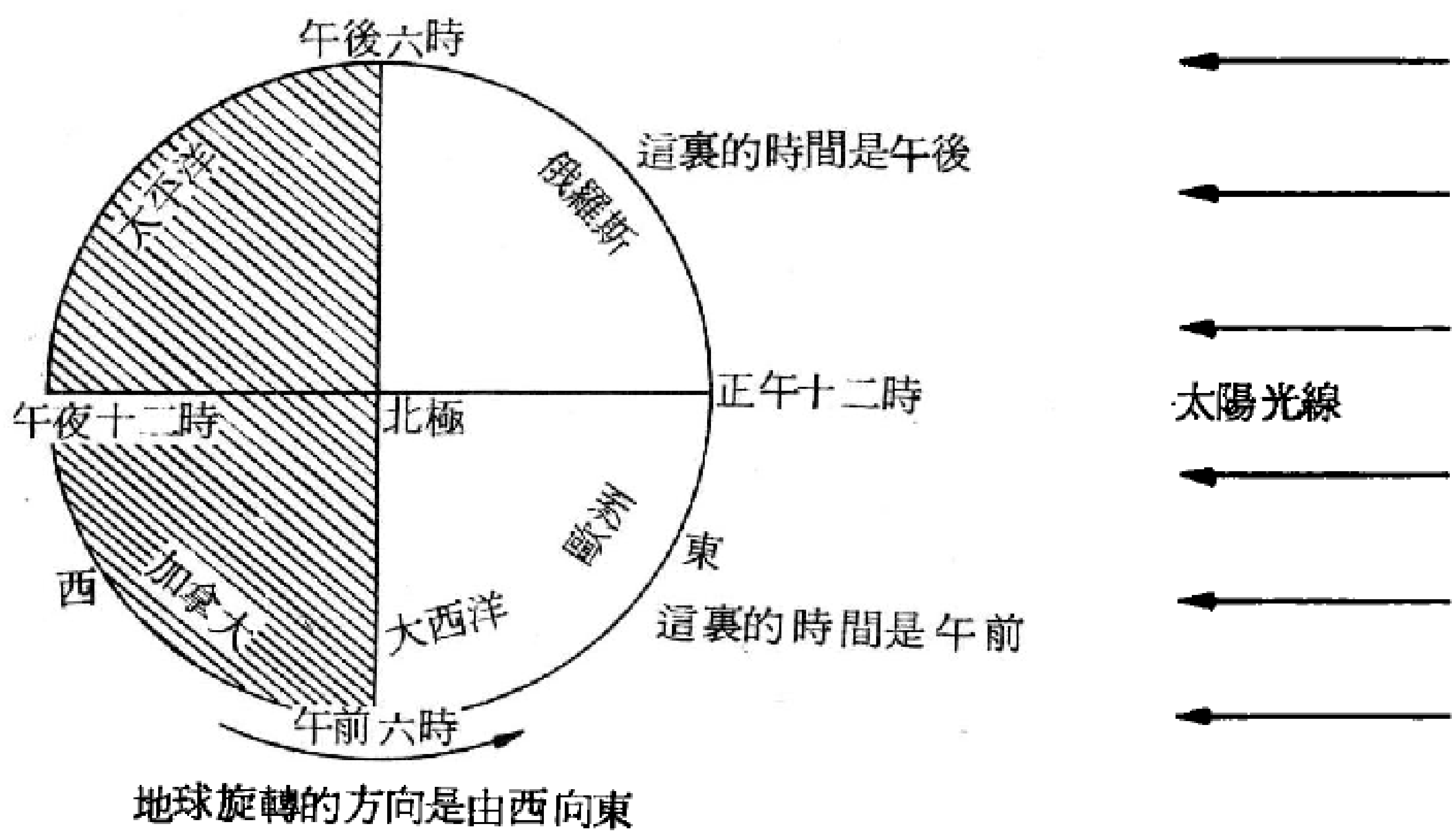


圖 13 — 121

，退出陽光的部分時刻較遲。地球上的四點，在同時有不同的時刻，換句話說，在任一子午線向東旋出的地方，時刻較早；向西旋向黑夜的地方則較遲。實際時間的差異，每隔經度 15°，時間相差 1 小時，就是每

四分鐘經度相差 1°。

每一艘航船上都備有一個計時錶，就是一隻向格林威治對時的鐘，經由無線電每天報告到船上，使時刻絕對的正確。航海者在途中用六分儀來觀測何時是正午，如測得太陽在空中達其最高點，那時就是所在地點的正午。而後從地方時與格林時計算其差數。若所在地在格林威治之東，就從地方時減去格林時；但若在其西，須從格林時減去地方時。求得這兩時的差數後，所在地的經度，就可依照每 4 分鐘 1° 或每 1 小時 15°來算出。

【經線】（**Meridian；Longitude**）

詳閱“經度（*Longitude*）”條。

【經緯儀】（**Theodolite**）

亦稱萬能器械，又稱廣用器械，用以測量地平角及直立角者也。且以其望遠鏡之特別構造法，可以直接測望距離之遠近。凡羅盤針所能測的東西，皆可用經緯儀測得之。經緯儀之形式如圖13—122。其最主要之部分，爲望遠鏡、分度圈、接頭、圓板盤及三脚架等。望遠鏡之構造，與尋常之望遠鏡大致相同，如 *aa* 。惟鏡內有極細之十字形兩線，相交成直角。其交點即爲望遠鏡之視軸。鏡筒之旁有水平樞軸如 *b* ，與鏡筒成直角。樞軸之兩端，支持於兩支桿之上如 *cc*。

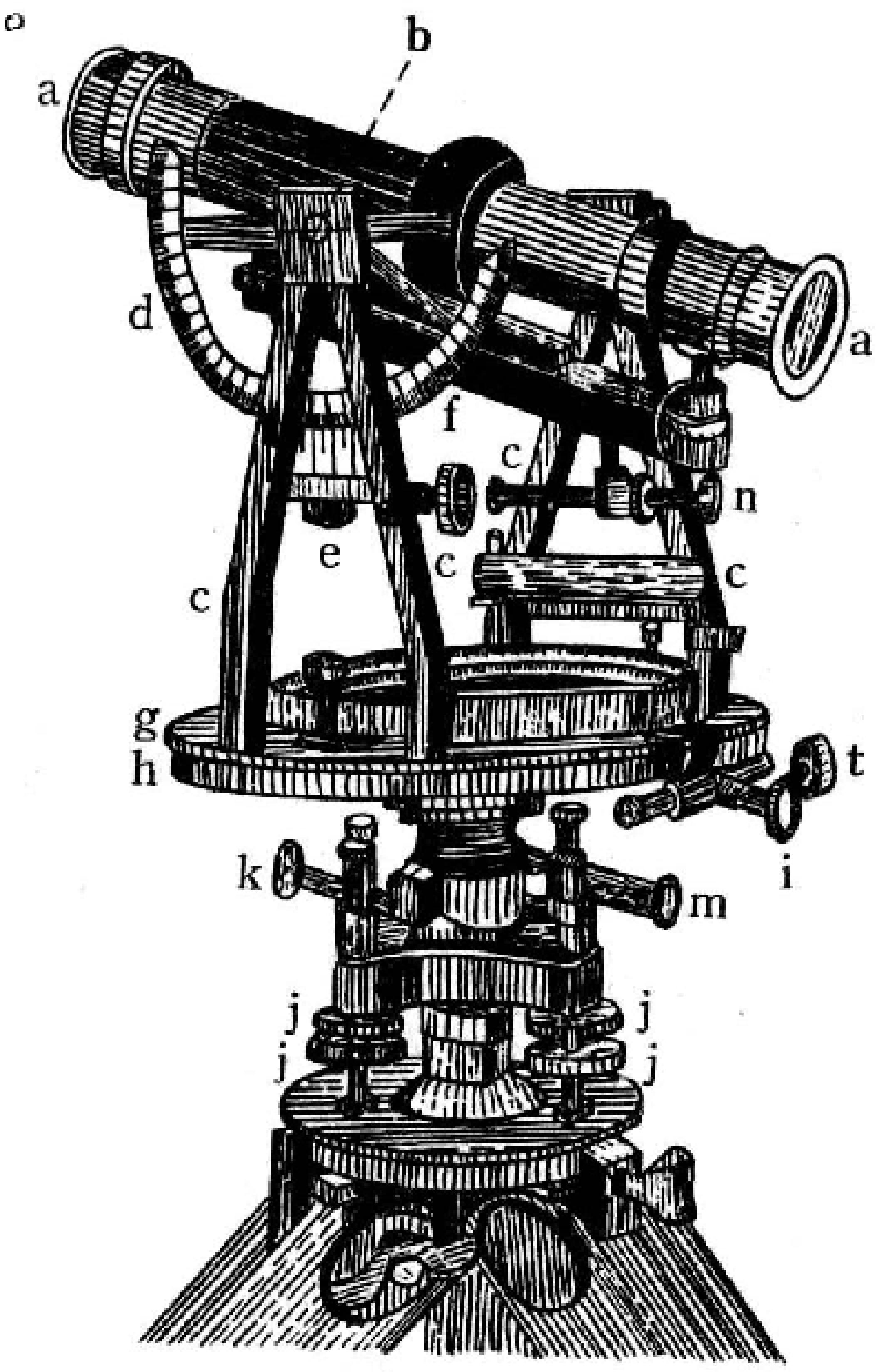


圖 13 — 122

樞軸一端連以一直立之圓圈，分以度數，名爲直立分度圈，如 *d*。圈之下邊與一游標相切如 *e* ，游標固定於支桿而不動，望遠鏡可以其樞軸旋

轉，直立分度圈亦附樞軸旋動，測量直立角大小，其度數可由游標得之。望遠鏡之下面，附連以平水準如 f，以爲定水平線之用，支桿之上端支持望遠鏡之樞軸，而下端連以一地平圓板盤如 g，此圓板盤之上附以互成直角之兩平水準，及正相對之兩游標和一羅盤。此圓板盤之下，另有一圓板盤，刻以度數如 h，名爲地平分度盤。上面之圓板盤，可在地平分度盤上旋轉，又可將邊緣之螺絲釘 i 旋緊，令其定而不動。地平分度盤之下面有一接頭，用以接全副儀器於三腳架上端之樞軸上，並有四螺絲如 j，j，j，j 遇圓板盤不平整時，可旋轉此四螺絲使之平整。故此四螺絲，稱爲水平螺絲。分度盤可旋轉自由，亦可以螺絲 k 之作用令其穩定，惟圓板盤與分度盤之旋轉法有二，爲測量地平角之必要者。(1)爲分度盤穩定。圓板盤與望遠鏡、羅盤、游標等，同旋轉於分度盤之上者。(2)爲圓板盤穩定於分度盤之上，其望遠鏡、羅盤、圓板盤等，與分度盤同時旋轉者。以上之旋轉法，欲令其旋轉之角度較大時，即以手移轉之。惟移動極微細之角度時，則先將圓板盤及分度盤穩定，不令其旋動，然後旋轉盤邊之切線螺絲 t 即可令圓板盤旋動極小之角度。欲使分度盤稍許移動，可將分度盤穩定後，再旋動其下面之切線螺絲 m，而令其旋轉細小之角度。欲望遠鏡向上或向下略微移動，可做此法將鏡穩定，使不致移動，僅旋動支桿旁的螺絲 n 即可。分度盤之分度法，自 0 度至 360度，恆刻有兩行。一行之讀法自左邊依次而至於右邊；其另一行之讀法，則自右邊依次而至於左邊。每度分爲半度，即三十分，或三分之一度，即二十分，視儀器之製作而定。在三腳架之下面正對分度盤之中心點，有一小鈎，爲掛懸錘以定儀器中心點之用。

經緯儀測量地平角與直立角之法如次：

1. 測量地平角法——先將經緯儀置於角點之上，平放之，如圖 13—123 中 a；次將圓板盤旋轉，令游標之 0 與分度盤之 0 相對，即將盤邊與切線螺絲成直角之直螺絲旋緊。如兩 0 不對正，則其微小之差數，

可旋轉切線螺絲而校正之。校正之後，切勿再將兩螺絲旋轉。次將分度盤連上面之圓板盤旋動，至望遠鏡與所測之方向對正時，即將盤下之直螺絲旋緊，並在鏡內窺望，令鏡內之豎線絲，在所測方向之 b 點上。如線絲與 b 點不能對正，則其微小之差數，可旋轉盤下之切線螺絲而對正之。不過欲令鏡內之豎線絲對正 b 點，將游標之示標正指分度盤之 0，而令 ab 方向為 0 度即可。次將圓板盤邊之直螺絲放鬆，令圓板盤旋轉，但切勿令分度盤旋動。俟望遠鏡對 ac 之方向時，即將盤邊之螺絲旋緊。做上法而旋轉其切線螺絲，則可令鏡內之豎線絲正對 c 點，而 bac 角之度數，亦即游標示標所指之度數。圓板盤上通常有兩個游標，讀角度時，必須將兩游標之示標所指之數讀出。若兩數微有不符，則將兩數相加，以二除之，取其平均數即可。

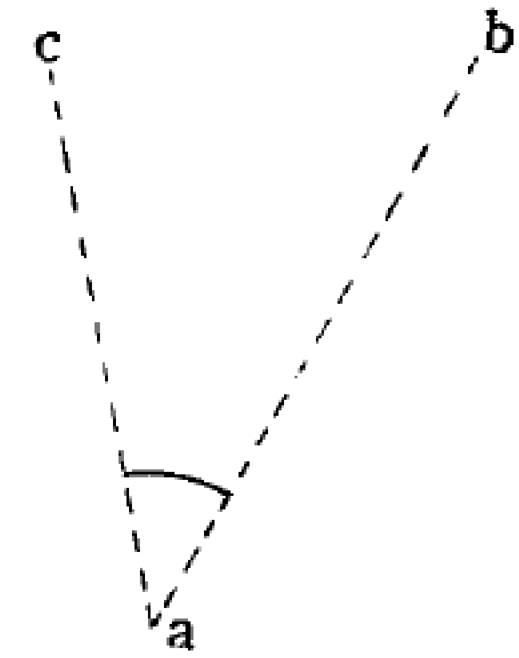


圖 13—123

2. 測量直立角法——直立角有仰角及俯角之分，但測法大致相同，惟以望遠鏡向上向下之別而已，知其一，即可知其二。如圖 13—124，欲求旗桿頂 C 與 A 點所成之仰角，可置經緯儀於 A 點，安放成水平。如經緯儀已整理完善，即可將望遠鏡旋動，令鏡內十字線之交點正對 C 點，即將螺絲旋緊，勿令旋動。如十字線之交點未對正 C 點，亦可旋轉鏡旁之切線螺絲而校正之，至交點對正 C 點時，則游標之示標所指直立分度圈之度數，即為仰角之度數。或恐儀器之差誤，則更可將儀器豎軸旋轉一百八十度。次將鏡依地平軸旋轉，仍依前法測其仰角。兩次所得之角度相加，以二除之，而取其中數，則所得者較為準確。惟此等重測法，必須視儀器之製造形式能否施行。如直立分度圈為弧形而非

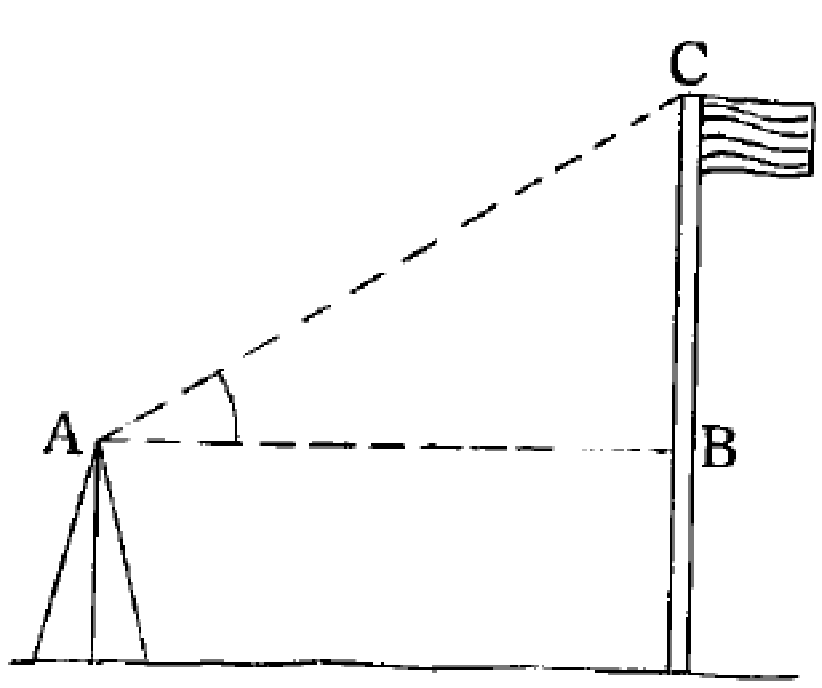


圖 13—124

全圓，則後法不能施行，只可於測得仰角之後再將望遠鏡旋平。俟鏡下平水準之水泡適在中點時，視游標之示標能否與直立分度圈之 0 吻合。如不能吻合，則所差之角度，可與仰角相加或相減。如兩角度各在 0 之一邊，則相加；同在 0 之一邊，則相減；如是，可得準確之仰角。

【經驗公式】(Empirical formula)

科學上的定律，如果不是經由理論的推演而導出，只是根據本身經驗、觀察結果或實驗數據而歸納得來的，便叫做經驗公式。經驗公式不僅在早期物理學的發展上有重大的影響，甚至開近代物理先河的浦朗克量子理論也是由他的黑體輻射經驗公式導來的。

【群速度】(Group velocity)

一般波動的進行速度以相速度 (*phase velocity*) 表示

$$v = \frac{\omega}{k}$$

k 為在 2π 這距離內波長的數目 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ，ω 為角頻率 $\omega = 2\pi\nu$ 。但是我們分析一個波動時這不一定就是我們所見到的速度。如果我們有一個連續的波，這波可能只有一個波長及一個頻率。但是這種性質的波就不適於傳輸訊號，因為一個訊號就表示一件事情自某一時間開始而在以後另一時間終止；即是說這波必須具有一種形狀是與圖 13 — 125 所示差不多的。一個這種形狀的波，稱為脈衝波 (*pulse*) 。所以，如果我們測量訊號傳輸的速度，原則上就在暗示這脈波進行的速度。

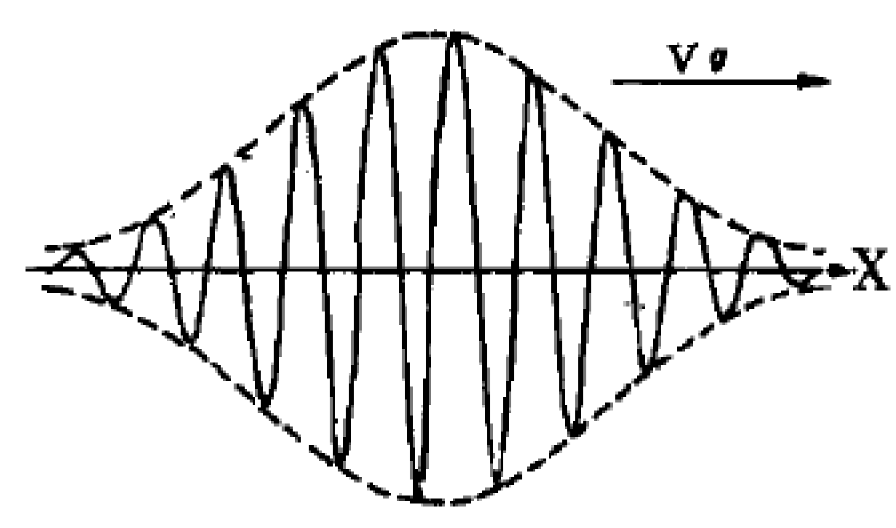


圖 13 — 125　脈衝波

首先，我們可以說此速度就是相速度，若為單頻諧和波，我們就說此速度是波的傳播速度；然而，在這裏加入了一個重要因子，圖 13 — 125中所描繪的波或脈衝不是諧和的，因其沿 X 軸方向之振幅不是常數

；於是我們必須對此波作傅立葉（ Fourier ）分析，發現它實際上包含了幾種頻率和波長。當然，如果傳播速度與頻率無關（即如果沒有色散）時，則波之傅立葉分量均具有同一速度，而我們可以正確地說脈衝之速

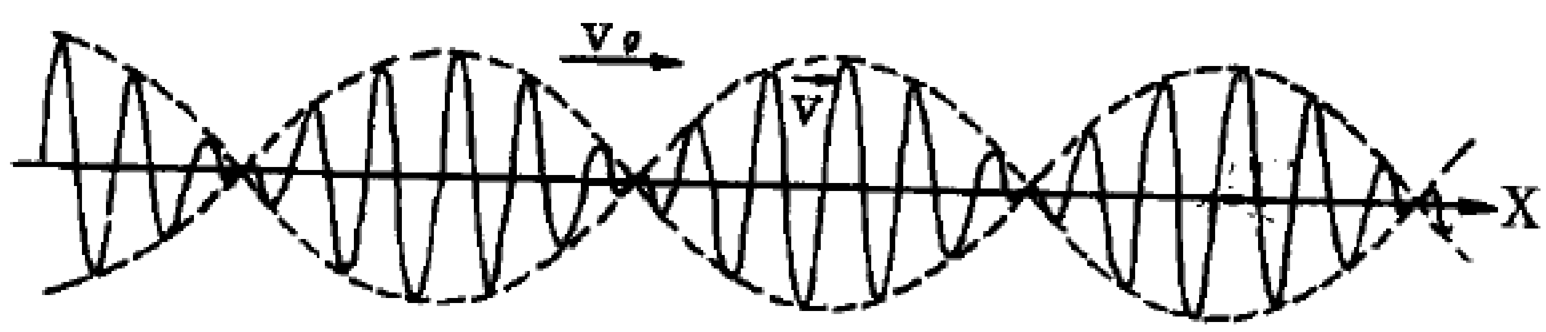


圖 13 — 126　相速度與群速度

度與其相速度相同。然而，在色散介質中，每一傅立葉分量有其自己之傳播速度，爲了簡單起見，我們考慮能分開成兩個近乎相等的頻率 ω 及 ω' 之波動，則 $\omega'-\omega$ 之值甚小；我們再假定其振幅相同，於是

$$\begin{aligned}\xi &= \xi_0 \sin(kx-\omega t)+\xi_0 \sin(k'x-\omega' t)\\ &= \xi_0[\sin(kx-\omega t)+\sin(k'x-\omega' t)]\\ &= 2\xi_0 \cos\frac{1}{2}[(k'-k)x-(\omega'-\omega)t]\\ &\quad \times \sin\frac{1}{2}[(k'+k)x-(\omega'+\omega)t]\end{aligned}$$

因 ω 與 ω' 同 k 與 k' 一樣近乎相等，我們可以用 ω 代替 $\frac{1}{2}(\omega'+\omega)$，用 k 代替 $\frac{1}{2}(k'+k)$，故

$$\xi = 2\xi_0 \cos\frac{1}{2}[(k'-k)x-(\omega'-\omega)t]\sin(kx-\omega t)$$

上式表示由 $\sin(kx-\omega t)$ 所決定之波，其振幅修正爲

$$2\xi_0 \cos\frac{1}{2}[(k'-k)x-(\omega'-\omega)t]$$

如圖 13 — 126 所示。修正後之振幅本身對應於以

$$v_g = \frac{\omega'-\omega}{k'-k} = \frac{d\omega}{dk}\ (\text{群速度}) \qquad (1)$$

之速度傳播之波動，此一對應之速度稱爲群速度，這是由圖 13 — 126

中之虛線所表示之振幅波的傳播速度；即圖 13 — 126 中脈衝之峯以群速度 v_g 傳播； 因此在色散性介質中，信號之速度即群速度。

如果我們用 $\omega = kv$ ，則代入（ 1 ）式變爲

$$v_g = v + k\frac{dv}{dk} \qquad (2)$$

當相速度與波長無關時，則

$$\frac{dv}{dk} = 0$$

而 $v_g = v$ （非色散性介質）

因此在非色散性介質中，相速度與群速度沒有區別，像前面所求得者一樣；可是在色散性介質中，群速度可能大於相速度，也可能小於相速度。

茲考慮約在長波範圍內液體中之表面波來作例證，在此情況下，相速度 v 之表示可由

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = \sqrt{\frac{g}{k}}$$

因 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

於是 $$\frac{dv}{dk} = -\frac{1}{2k}\sqrt{\frac{g}{k}} = -\frac{v}{2k}$$

則由（ 2 ）式得 $v_g = \frac{1}{2}v$ ， 因此群速度恰好等於相速度之半；這表示如在水中產生一個擾動，則起始之擾動畸變，波長較長之分量以較群速度爲大之速度脫離擾動，此群速度即擾動之波峯的速度。

【腳踏車車燈用的發電機】（ Generator for bicycle lamp ）

如圖 13 — 127 腳踏車車燈用的發電機是一種屬於旋轉磁場型，用永久磁鐵的磁場發電機。

有四個固定的線圈，在這四個線圈中間，放一個四個極的永久磁鐵，使其能隨著車輪的轉動而旋轉的一種裝置。這樣的發電機發出的電爲交流，原理則完全與交流發電機相同。

【落後角】(Angle of lag)

交流電通過純電感電路時，變化電流即藉感應產生一反電壓，此電壓與外加電壓相差 180° ，至於通過之電流卻領前於感應電壓 90°，但落後於外加電壓 90°。

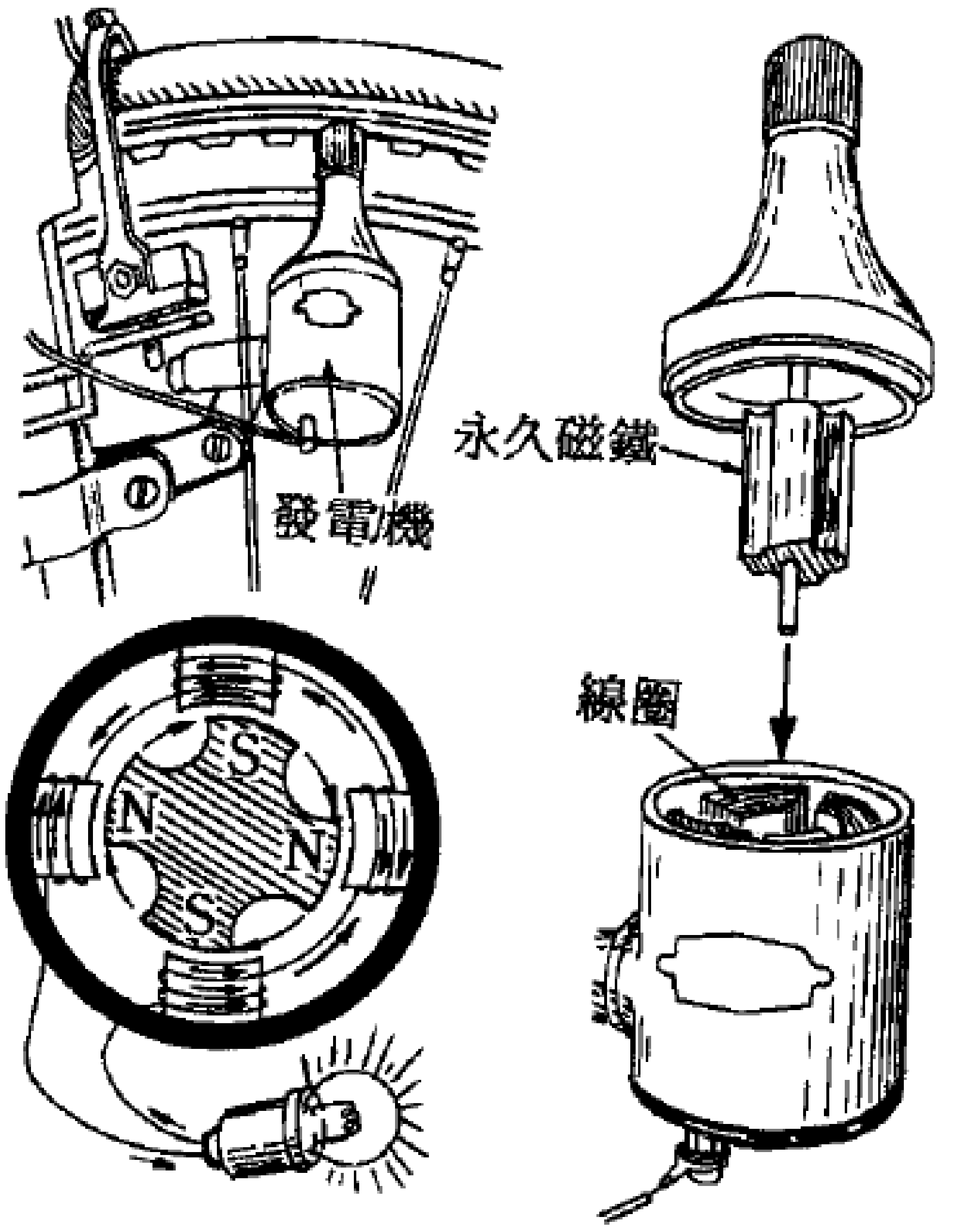


圖 13 — 127　腳踏車的發電機

【落雷】(Lightning stroke)

帶電的雲接近地面，由感應作用，在雲和地的中間發生火花放電即爲落雷，又謂之雷擊。

避雷針爲利用尖端作用，使落雷趨於徐緩的裝置。據估計一般雷雲底部與地面之間的電位差約在 1 ～ 10 億伏特，而電流的最大值，普通約有 2 ～ 3 萬安培。因此，落雷常附帶著非常高的溫度而引起災害。又因瞬間通過大電流而發生電波，也會引起無線電通信的干擾。

【落塵】(Fallout)

在核爆炸後幾千分之一秒內，產生大量的熱。這些熱產生在非常少量的物質中。因此核子裝備的外殼，及其他的一些結構物、分裂產物與周圍的空氣溫度，高至可與太陽中心的溫度相比，可能有幾萬度。在這種高溫之下，爆炸附近的物質，在幾千分之一秒內，皆要汽化成蒸氣。火球就是由於此高溫而產生的。火球很快地膨脹。當其膨脹時，加熱於其周圍的物質，而後開始上升。最初核爆炸時產生一些混合氣體，熔融的核子燃料，並可能將周圍的一些物質熔解。當火球冷卻後，這些熔融

物質形成固態，氣體物質也凝結成固態，最後降回地球表面，此稱爲落塵。但不適用於地下爆炸，地下爆炸可能僅產生一點甚至於無落塵。由於在地球上大多數的生物，受到核爆炸所產生的輻射線照射。所以落塵對於生物，尤其是人類，可能產生的影響是很值得注意的事。

美國境內的落塵，平均一年產生的劑量，小於15毫雷得（*milli-rads*），比天然產生的10％還少。落塵的危害性，不在於劑量的多少，而是由於其中有很多種類的核種，同身體內某些元素的化學性質相近。每種核種都有它們特別喜好的人體重要器官或組織，結果產生了與其劑量不相勻稱的效應。鍶 - 89和鍶 - 90 ，性質似鈣，故多聚集在骨骼中。碘 - 131 ，與安定的碘元素性質類似，集中在甲狀腺和唾腺內。鈽 - 239，集中在骨骼的敏感部分。碳 - 14， 同正常的碳一樣，聚集在細胞核中的*DNA* 分子內。落塵中的元素，雖有選擇聚集地點的性質，但造成的傷害，是不會超過天然背景的。

某一特定爆炸所產生的落塵，其特性取決於兩個主要的因素：爆炸的高度、功率與體積。只要知道爆炸的高度，我們即可知此類爆炸，是否能將大量的土壤與水吸入熱的火球中。如果高度能使上述現象發生，則帶有放射性的重粒子與水滴，很快就凝結而掉回地面。這些我們稱爲地域落塵（*local fallout*）或早期落塵（*early fallout*）。地域落塵在爆炸後24小時內發生。

相反地，如果爆炸高度高至某一程度，使地面的土壤與水無法被吸入火球中。如此一來，則只有少數，甚至於無地域落塵產生。然而，爆炸所產生的污染粒子，凝結成非常小且易溶的粒子。這些粒子隨風飄流，散佈很廣，最後降於地面。這些我們稱爲全球落塵（*worldwide fal-lout*）或遲延落塵（*delayed fallout*）。 全球落塵又可分爲對流層落塵（*tropospheric fallout*）、平流層落塵（*stratospheric fal-lout*）兩種。

要區別兩類的全球落塵，需先瞭解大氣中氣層、溫度的一些情況。假如你從地面上某點，一直往上升，你會發現首先空氣的溫度隨高度的升高而降低，隨後保持固定或隨高度的增高而升高。氣溫不隨高度連續改變的氣層，稱為對流層頂（ *tropopause* ），即對流圈與成層圈之交接區，也就是對流層與平流層的分界。從地面至對流層頂稱為對流層（ *troposphere* ），此區域內有渦流（ *eddy* ），並能將物質很快的混合起來。氣候如何就是由此區域內的情況來決定，包括雲、雨與霧。對流層頂上面是平流層（ *stratosphere* ）。在此區域內無湍流（ *turbu-lance* ），只能在垂直方向將物質慢慢的混合起來。對流層頂在熱帶地區，大約離地球表面 50,000 到 60,000 呎，在中緯度或極區則只有 30,000 至 40,000 呎。所以在熱帶與極區之間，有一區域其對流層頂的高度急驟的改變，此區域稱為對流層頂缺口（ *tropopause gap* ），在對流層頂缺口內，氣流能在平流層與對流層兩氣層間很快的移動與相互混合。

低產率（ *low yield* ）的核子裝備（大約幾十萬噸左右）在地面或離地面不遠的地方爆炸，無法將分裂產物拋至對流層頂。所以對流層落塵在一天到四星期的期間內，就被雨水或雪帶至地面。更由於風向主要是東西向，所以對流層落塵到達地面，大都集中於爆炸同緯度的區域內。

高產率（ *high yield* ）的核子裝備（百萬噸級以上的），能將其分裂產物拋入平流層。氣象學家目前尚無法確知這些放射性粒子，如何從平流層進入對流層，而後降落於地面。圖 13 — 128 是一非常簡單的圖表，用來說明目前所知道的情形。分裂碎片在靠近赤道的地方拋入平流層，慢慢的移至兩極。原則上，在南半球試爆移向南極，在北半球試爆移向北極。幾個月或幾年之後，它降落至對流層頂缺口附近的對流層。在冬末初春或某種氣候的情況之下，下降的速率更為增加。

從已經試爆而得來的經驗中，證實了上述的觀點。大多數的核試爆

在北半球進行，因此落塵大多降落於北半球的溫帶。且發現冬末初春時，落塵量增加。當蘇俄於北緯50°試爆之後，發現落塵下降率比在其他地區試爆爲快。基於這些試驗，進入極區平流層（離地面較近）的分裂產物，其半停留期（*half-residence time*，一半的分裂產物從平流層降落至地面所需的時間）少於一年，且與其進入平流層時的季節有關。美國與英國的試爆，主要在熱帶進行，其所產生的落塵，降至地面所需的時間比蘇俄的要長。在赤道附近如果分裂產物抛入較低處，則半停留期大約一年，如抛入較高處，則需五年以上。

全球落塵移動的情形

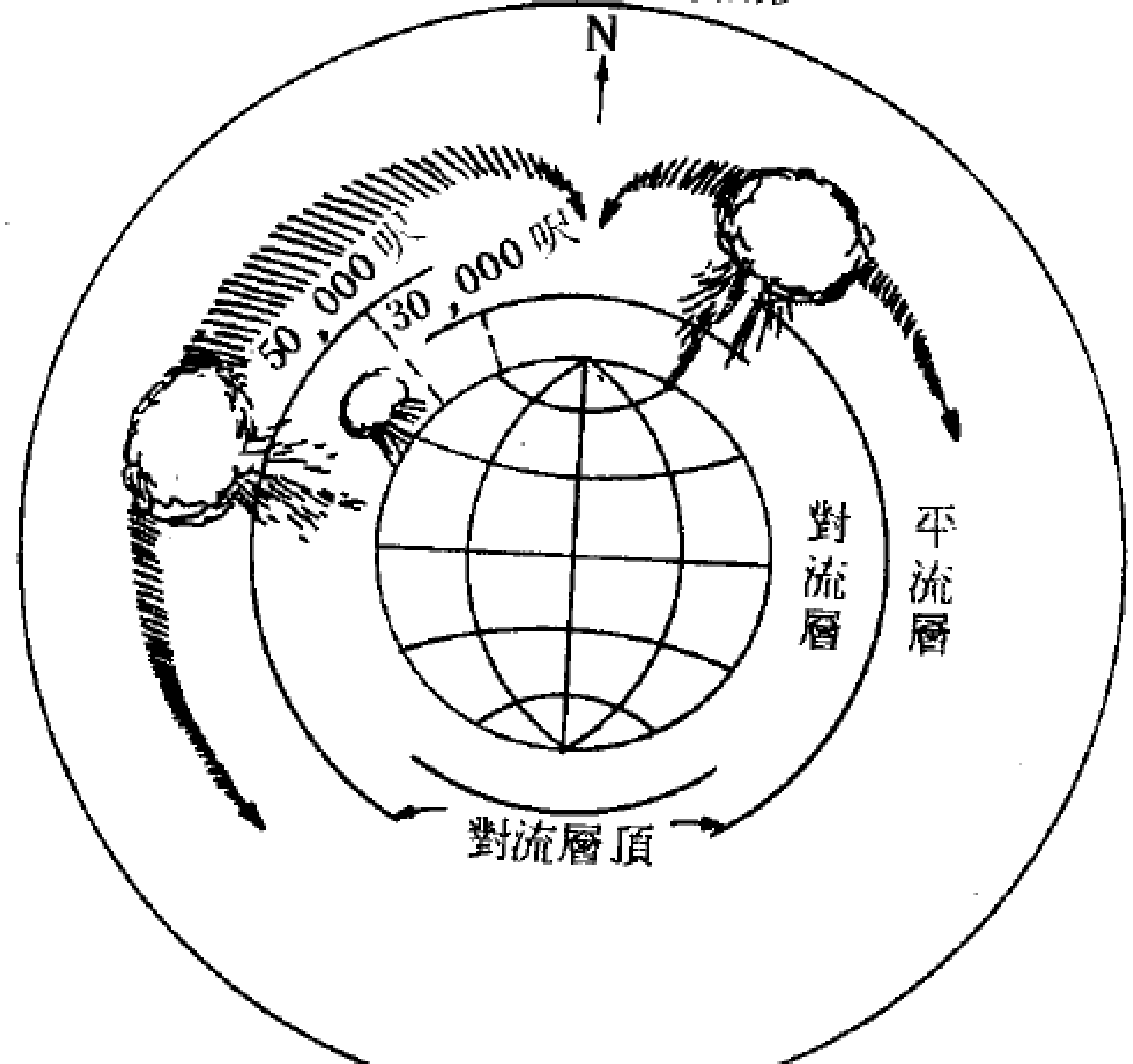


圖 13 — 128
圖中箭頭所指的方向表示分裂碎片最終的移動方向。其移動是以旋渦方式進行，而非僅僅流動而已

綜合上述，我們發現落塵可依其從爆炸至降落到地面所需的時間，加以分類如右表。

類　　別	所需時間
地域（早期）落塵	幾分鐘到一天
全球（遲延）落塵	
對流層落塵	一天到一個月
平流層落塵	五年以上

含有粒子的原子雲（這些粒子降落後就是地域落塵），隨風飄流，其速率取決於粒子的大小與在不同高度時的氣流形態。大多數的粒子隨雲移動時，會慢慢的降下。當其下降時，受風的影響會有些移動。對於低產率的地面爆炸，在爆炸點附近，五分鐘內便會有地域落塵產生。對於高產率的爆炸，地域落塵產生的時間大約30分鐘左右。

它也能隨風飄至百里外，在 24 小時內皆可能有地域落塵產生。所以地域落塵也可能危害到離爆炸地區很遠的人們。

下降所需的時間愈長，其危害的程度愈小。因爲所有的放射性物質，隨著時間的消逝，經過一連串的蛻變或衰變，而失去其放射性。某一放射性物質，蛻變至其原有原子數的一半所需的時間，是爲此放射性物質的半衰期。半衰期視各種不同的同位素而定，其範圍從幾百萬分之一秒到幾百萬年。

地域落塵主要大約由100種含有放射性的分裂產物所組成。每種分裂產物有其特定的半衰期。由地域落塵所產生的輻射，其強度隨時間的消逝而減弱。有一規則可算出時間與輻射強度的關係，就是爆炸後，時間每增加七倍，輻射強度變成原來的十分之一。舉例來說：假設地域落塵於爆炸後一小時到達某一地區，而量出其強度爲 100單位。七小時後，其強度降至大約 10 單位。 49小時後，其強度大約 1 單位。所以專家們建議，對於地域落塵的防護，警覺期間愈長愈好。

人類遭受到地域落塵的照射，最重要的是由大而粗糙的粒子放出的 γ 射線，這些粒子落在各種東西的表面如地面、屋頂、樹枝等。但僅有少數能進入封閉的空間，如房屋、櫥子。然而 γ 射線能夠穿透通常的障礙物，因此必須有很厚的遮蔽物來擋住它。

在地域落塵到達的區域內，我們也必須避免 β 射線對皮膚的燒傷，並且必須切記不可吸入被落塵污染的空氣，吃進被污染的食物與水。在核子戰爭中，這些問題如不加以注意，將會構成很大的損害。

由於核試爆所產生的這些反應，所以試爆的地點必須選擇遠離人們居住的地方，試爆的時間也必須加以考慮，因爲氣候的情況隨季節改變。通常由於試爆前這些周詳的安排，所以地域落塵對人類的損害非常小。

【落體速度】(Velocity of falling body)

如在等加速度運動的公式說明，初速度爲v_0，末速度爲v，加速度爲a，時間爲t時，末度速v可用$v = v_0 + at$求得。如把此式中的加速度a，用重力的加速度g（9.8米/秒²）代替，即可求得t秒後的落體速度。

末速度＝初速度＋重力加速度×時間

$$v\ (\text{米/秒}) = v_0\ (\text{米/秒}) + 9.8\ (\text{米/秒}^2) \times t\ (\text{秒})$$

【落體偏差】（Deviation of falling body ）

或稱落體偏向。落體偏向現象係因地球自轉引起，故塔頂因旋轉而在空間劃下較塔基爲大之圓，使球體在下墜時獲得較大之向東速度。設一球由高328呎塔上落下，則球下墜觸地之點在垂足之東0.62吋處。

【落體運動】（Motion of falling body ）

自由落下的物體，叫做落體。物體落下的時候，它的加速度是g，所以t秒鐘後，它的速度V和通過的距離S，加速度的情形同樣的計算。依據定義

$$\text{加速度} = \frac{\text{末速度} - \text{初速度}}{\text{時間}}$$

即
$$g = \frac{V - 0}{t}$$

$$\therefore \quad V = gt \qquad (1)$$

$$\text{距離} = \frac{1}{2}\text{平均速度} \times \text{時間}$$

$$\therefore \quad S = \frac{V + 0}{2} \times t = \frac{1}{2} V \times t$$

代入（1）式，則
$$S = \frac{1}{2}(gt)\,t = \frac{1}{2}gt^2 \qquad (2)$$

由（1）式
$$t = \frac{V}{g}$$

再代入（2）式，則

$$S=\frac{g}{2}\times\left(\frac{V}{g}\right)^2=\frac{V^2}{2g}$$

$$\therefore \quad V^2=2gS \qquad (3)$$

由上三式可訂出下面的定律：

(1)落下的速度，和時間成正比例。

(2)落下的距離，和時間的平方成正比例。

(3)落下的速度，和距離的平方根成正比例。

【落體黏度計】（Falling body viscosimeter）

若用毛細管黏度計（*capillary viscosimeter*），測定黏度較大之液體時，其流下時間甚久。並因常有液體附著於管壁，故甚難測得精確結果。此時可將一固體球放於此種液體中，由測定其落下速度而得該液體之黏度，此種黏度計稱爲落體黏度計，如圖 13－129。

設半徑 r 之固體圓球，在黏度爲 η 之液體中以一定速度 v 墜下時，則其球體所受之重力，必與其所受之液體阻力相等。因

$$重力=\frac{4}{3}\pi r^3(D-d)g$$

g 爲重力加速度，D,d 各爲球體及液體之密度。

設球體在液體中之落下速度爲 v，則此液體阻止球移動之摩擦力即阻力，等於摩擦係數 f 與速度 v 之乘積。

又由司托克士（*Stokes*）法則 $f=6\pi\eta r$，故

$$阻力=fv=6\pi\eta rv$$

$$\therefore \quad \frac{4}{3}\pi r^3(D-d)g=6\pi\eta rv$$

$$\therefore \quad \eta=\frac{2gr^2(D-d)}{9v}$$

若設球體在 t 秒間之墜下距離爲 l，因 $v=\frac{l}{t}$

$$\therefore \quad \eta=\frac{2gr^2(D-d)t}{9l}$$

爲精密計，對於液體容器之大小必須加以補正，如下式

$$\eta=\frac{2gr^2(D-d)t}{9l\left(1+2.4\frac{r}{R}\right)\left(1+3.3\frac{r}{H}\right)}$$

上式中R爲液體容器之半徑，H爲其深度。

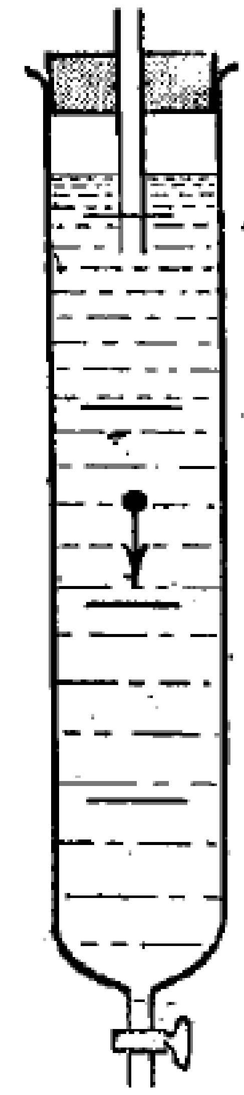


圖13－129

【葛萊瑟】(Donald Arthur Glaser 1926－)

美國物理學家，1926 年九月二十一日生於美國俄亥俄州克利夫蘭市，1946 年自該市凱士 (*Case*)理工學院獲學士，1950 年自加州理工學院得物理學博士學位。以發明探測基本粒子的氣泡室而獲 1960年諾貝爾物理學獎，據說葛萊瑟從啤酒杯中的氣泡而得到氣泡室的靈感。得獎後與一學生結婚，並改行研究分子生物學。現在任教於加州大學柏克萊校區的物理與分子生物學系。

【葛爾曼】(Murray Gell -Mann 1929－)

美籍猶太人，出生於紐約市，十九歲畢業於耶魯大學，廿二歲在麻省理工學院獲物理學博士學位，廿七歲起在加州理工學院任正教授。他在 1953 年，廿四歲時與日本的西島分別發現奇異性守恆律，成功地解釋奇異粒子的半衰期爲何比預測要長很多。1958 年和加州理工學院的范曼共同提出弱作用的普遍理論，將弱作用和電磁作用相連貫，這理論後來被我國留美物理學家吳健雄女士在哥倫比亞大學做實驗證實。1961 年與以色列的尼曼 (*Y. Ne'eman*) 分別發現重子和介子可以用數學上群論裏的$SU(3)$群分類，他們預測一個新的基本粒子Ω^-的存在，後來果然於 1964年在美國布魯克海文國家實驗室(*Brookhaven National Laboratory*)發現，葛爾曼還由群論推算出不同粒子的質量之間的關係，與實驗結果符合。1964 年曾預測虧子 (*quark*) 的存在

，它所帶的電荷只有電子電荷的1/3或2/3，1969 年澳洲雪梨大學的物理學家宣布在宇宙射線裏找到虧子存在的證據，但由於證據不夠充分而未被重視。1969 年葛爾曼獲諾貝爾物理獎，瑞典科學院在宣布他得獎時，特別推崇他對基本粒子的分類和相互作用方面的貢獻。此外他對哲學和文學都很有修養。

【著火】(Fires)

充氣管當其屏陰間電壓到達離化作用時，名著火，實際上是電離。著火僅是個慣用詞。

【著陸信號】(Landing beam)

一種有方向性之射頻信號，乃幫助盲目飛行降陸之用。

【葉綠素】(Chlorophyl)

植物葉綠體中所含之綠色色素，爲含鎂之複雜碳化物。植物由根吸收水分，由空氣中攝取碳酸氣，在葉之綠色部分相遇，因日光之作用，水與碳酸氣先和葉綠素中之鎂原子結合，而後分解。分解時，與氧作用而生甲醛，聚合而成葡萄醣，終成澱粉、纖維素而組成植物體，故葉綠素在植物中爲不可缺之成分。

【蛻變】(Disintegration)

不穩定的原子核是經由放射β粒子（電子）、α粒子（兩中子兩質子的粒子）或經由釋放γ射線而設法自行變成穩定。這一過程叫蛻變。與衰變（*decay*）同義。

【蛻變率】(Disintegration power)

原子核的蛻變率爲

$$dN/dt = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} = -\lambda N$$

蛻變率dN/dt與現有核數成正比；或若現有N極個核（N大）則預計在dt時間內蛻變的核數等於（λdt）N。因爲上式是統計式的描述，我們不能說一個原子核的半衰期，或確定多少核將蛻變。

【蛻變常數】(Disintegration constant)

自鐳(*Ra*)分開的氡(*Rn*)之蛻變曲線， 如取橫軸爲時間 t ，取縱軸爲氡氣之自然對數或爲放射性強度之自然對數，則可繪出如圖 13 — 130 所示之直線，此示氡對時間之減少，係遵循指數定則，即

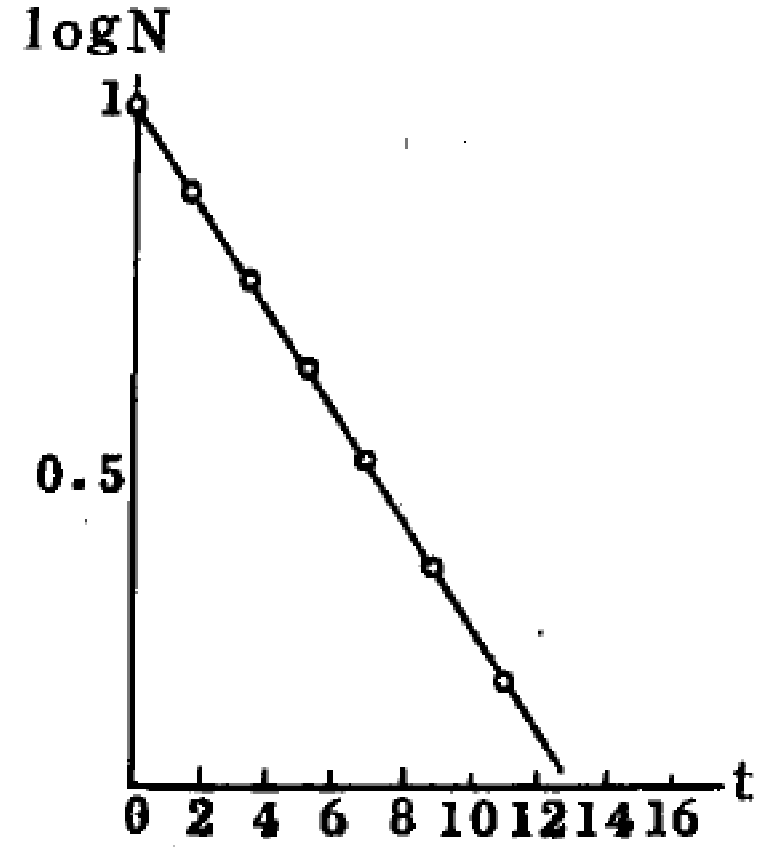


圖 13 — 130

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

之關係。N爲在時間 t 尚未有蛻變的原子核數，N_0 爲 $t = 0$ 時之原子核數。 λ 係一描述蛻變速率之常數，乃是物質之固有量，通稱之爲蛻變常數。顯然，此常數 λ 在 t 與 $\log N$圖表上，可以直線對橫軸之梯度(*gradient*)求之。

【蜂音器】(Buzzer)

電碼練習機；以電磁鐵爲主體的發音裝置。其構造是在電磁鐵旁裝一彈簧片，電流通過電磁鐵的線圈，線圈卽生磁吸引彈簧鐵片而發聲，因其裝置使通過線圈的電流自動斷續，故聲音可以連續發出。其基本原理與電鈴相同。

【解析力學】(Analytical mechanics)

牛頓的運動方程式係以質點的直角坐標系爲基礎；但以一般性坐標爲基礎的力學原理〔拉格朗運動方程式 (*Lagrange's equation of motion*)，漢彌頓(*Hamilton*)正則運動方程式，漢彌頓、亞可比(*Jacobi*)偏微分方程式 ，變分形式的漢彌頓原理等〕以及其應用，通常稱爲解析力學。

【解調】(Demodulation)

在接收機中將信息從射頻電波分離的方法，稱爲解調或稱檢波(*detection*)。

【解調器】(Demodulator)

在收音機天線中的電子被促使作交變運動之後，它們的前後往返（就是訊號），被用以產生聲音。在這過程中，第一個步驟是放大這訊號。把天線接到一枚電子管的柵極就行了。

已經增到相當強的訊號，被引至一個解調器。它把高頻載波榨出來，或者說把高頻載波解除。於是在訊號中，遺下來的只有電脈衝，即一個在變動中和廣播電臺微音器的電脈衝相應和的電子流。

解調器，包括一個屏極、一個發熱燈絲和一個陰極。當陰極被烘熱後，即出電子。當屏極爲正時，這些電子會跑到屏極去。但如果屏極是負的，電子被排斥。換句話說，當屏極爲正，電流會流過此器，但當屏極爲負，電流將不能通過。

由天線來的訊號被放大管增強後，被送至解調器的屏極，從而使屏極變正或變負。這訊號，它的電子前後急速地流動著，使屏極反覆地由正變負再反轉過來。這樣，管子就讓一列電流脈衝通過它，由陰極流向屏極。

這些電流脈衝的強度是變化著的，跟著廣播電臺微音器電脈衝所作的調制逐漸變化，於是，電流脈衝應和著微音器電脈衝。如果它們被另外的放大管增強，再通過無線電傳聲器，它們將使傳聲器的膜片震動，因而廣播節目的聲音被播放出來。

在調頻收音機內，解調器的工作在於反應無線電波的頻率，而不反應它們的振幅。但就它的基本效能來說，兩者並無區別。

【解離能】(Dissociation energy)

就固體的存在性而論，我們可以推斷：(1)在原子或分子間必定存在著吸引力，使它們結合在一起。(2)要想壓縮固體使其容積改變到可觀察的程度，必須外界施與相當大的壓力。從這一事實可知，原子（或分子）間也同時存在著排斥力。由於這兩種力的啓示，把原子（或分子）間

各別所蘊藏的位能寫成之經驗性公式

$$V(r)=-\frac{A}{r^m}+\frac{B}{r^n} \qquad (1)$$

r 代表兩原子（或分子）間相隔的距離，而A，B，m及n各為參數。換言之，右式第一項表示與吸引力對應的位能，而右式第二項，則為與排斥力所對應的位能，因此m，n決定了吸引力及排斥力作用的幅度；如果m越大，引力範圍縮小。相同地，如果n愈大，則排斥力的範圍愈小。當r趨近無限大時（亦即兩原子完全隔離，沒有力的交互作用），位能為零，換言之，位能準線放在無限分離處。

從（1）式，我們知道這兩原子（或分子）間的作用力是

$$F(r)=-\frac{dV(r)}{dr}=-\frac{mA}{r^{m+1}}+\frac{nB}{r^{n+1}}$$

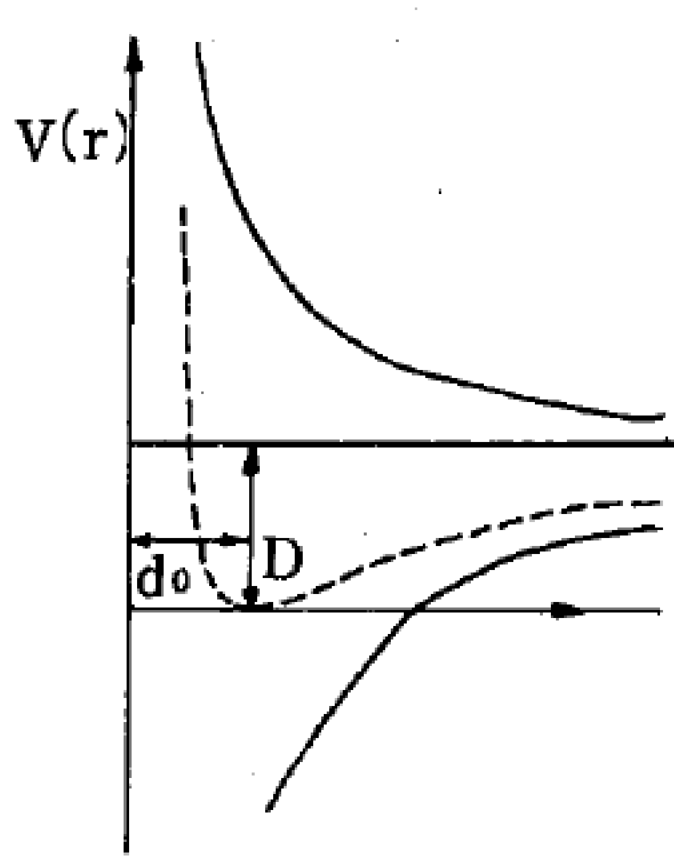


圖 13 — 131

位能與兩原子間距離的關係

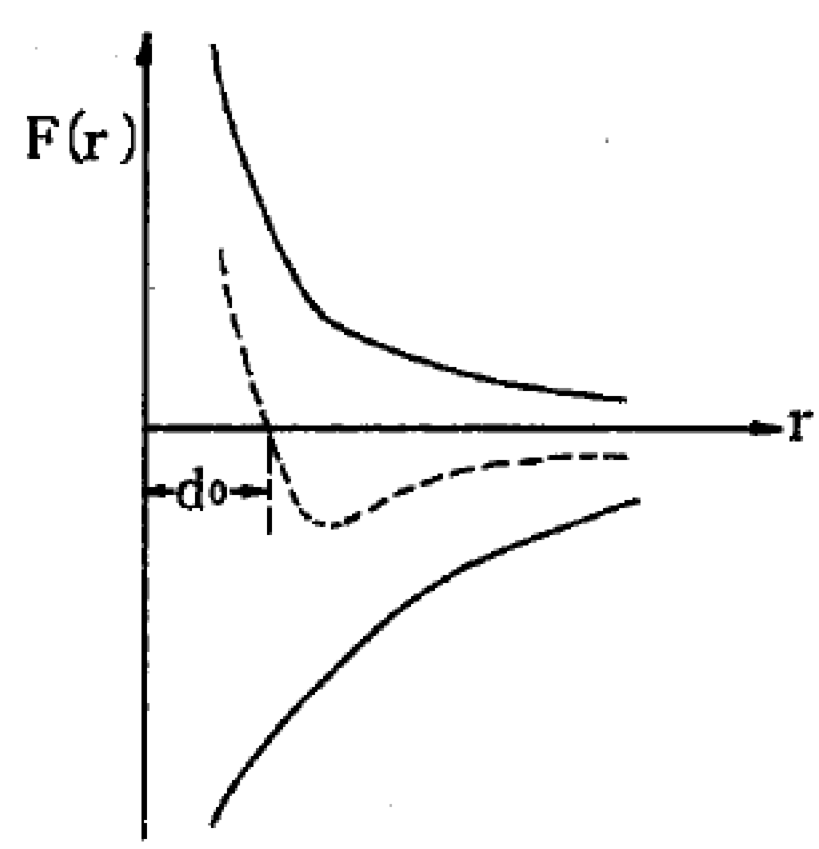


圖 13 — 132

力與兩原子間距離的關係

設d_0是兩原子達到平衡時的位置，亦即$F(d_0)=0$，從物理觀點而言，$V(d_0)$必為極值，而且是極小值，如圖 13—131 及圖 13—132 所示。因此，在平衡位置時，$\frac{d}{dr}V(r)\big|_{r=d_0}=0$，由此可得

$$B=\frac{m}{n}Ad_0^{(n-m)} \qquad (2)$$

因此，（1）式的位能可以被改寫為

$$V(r)=-\frac{A}{d_0{}^m}\left[\left(\frac{d_0}{r}\right)^m-\frac{m}{n}\left(\frac{d_0}{r}\right)^n\right]$$

而這兩個原子的解離能D就可被定義爲

$$D\equiv -V(d_0)=+\frac{A}{d_0{}^m}\left(1-\frac{m}{n}\right)$$

也就是說，外界至少要供給能量，才能使這兩原子互相分離。我們可以看出，在平衡的狀態下，吸引力與排斥力相等，然而引力位能與斥力位能絕不相等（$n\neq m$）。而且就合理的推測而言，當兩原子非常靠近時，必須遭受強有力的排斥，而當兩原子隔得極遠時，又必須表現吸引的現象，因此在（1）式中，$m<n$。這可簡單地從數學上驗證，因爲$V(d_0)$是極小值，故$d^2V(r)/dr^2|_{r=d_0}>0$，亦即

$$-m(m+1)A/d_0{}^{m+2}+n(n+1)B/d_0{}^{n+2}>0$$

從（2）式知$d_0{}^{(n-m)}=(n/m)(B/A)$，所以上式可改寫爲

$$\frac{n+1}{m+1}>\frac{d_0{}^{(n-m)}}{(n/m)(B/A)}=1$$

$$\therefore\qquad n>m$$

假設某種模型，適合$n\gg m$，則（1）式的斥力位能只顯現於很小的範圍，亦即這兩個原子間的結合能量完全決定於引力位能，完全決定於吸引力的特性。譬如在氣體的例子，$n\sim 10$，遠大於m，故排斥力的作用範圍遠小於吸引力的作用範圍。

利用上述的方法，通常我們無法決定m，不過就實際的例子來說，有時也可以由別的知識得到。就離子性結晶（ionic crystal）而言，例如$NaCl$，它是有規則地由Na^+及Cl^-相互排列在立方結晶格上，如圖13—133所示，因此力的作用情形，就初步的估計（只考慮單一$NaCl$分子），

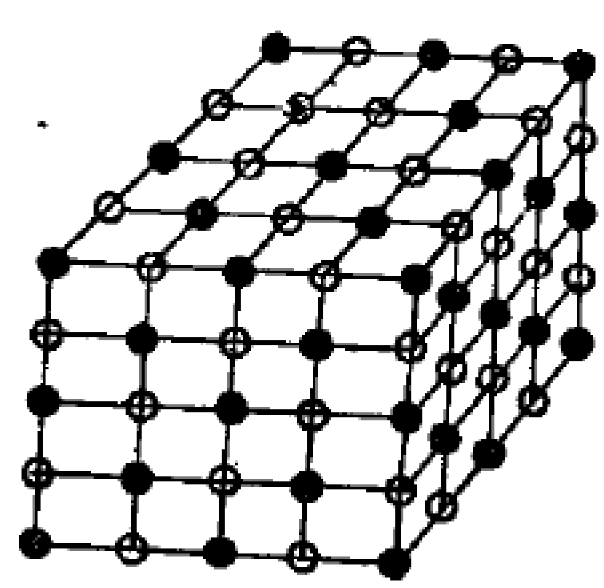


圖13—133
氯化鈉的結晶

可被認爲是純粹的靜電庫倫引力，亦即$V \sim -e^2/r$，因此就這種單價的離子性結晶而言

$$A = e^2 \qquad m = 1 \qquad (3)$$

（3）式用的是C.G.S. 單位。至於其他的結晶，亦可利用類似的方法，很簡單地求出。

引用（3）式之結果，單價離子性結晶的解離能可被寫爲

$$D = \frac{e^2}{d_0}\left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

就$NaCl$而言$d_0 = 2.5 \mathring{A}$，如果$n = 9$，則解離能爲

$$D = \frac{(4.803 \times 10^{-10})^2}{2.5 \times 10^{-8}} \times \left(1 - \frac{1}{9}\right) = 8.1 \times 10^{-12}\text{爾格} = 5.1eV$$

這與實驗觀察之平均值相比較，其誤差在4％內。

【試棒】（Test lead）

一對金屬棒，從電表與導線引出，用以測探無線電機電路是否正常者。

【試管機】（Tube tester）

一種綜合測量儀器，用來測試電子管的發射電流、電極的斷線和短路，以及測定無線電裝置中電子管的靜止狀態。試管機大致可分爲兩大類：一爲測驗電子管的陰極放射量；一爲試驗電子管之互導值。兩種表度常以良好、平常及惡劣三項簡化標誌指明之。

【試驗用反應器】（Test reactor）

這是一種經特別設計的反應器，可用來試驗反應器材料或反應器元件在受到中子和γ射線照射以後的性質，以及一個操作中的溫度狀況。

【試驗振盪器】（Test oscillator）

試驗用儀器之一，能產生未調等幅波或聲調射頻波，供給修理電路作校準用。

【試驗器】(Tester)

用來測試零件及各部分電路中有無斷路、短路以及電容器絕緣是否良好等的裝置。這不是一種測量儀器，而只是用來檢查無線電接收機的接線及零件是否完好。

歐姆表、伏特表與電源串聯的小電珠或耳機都可以用作通斷試驗器。

【詭霎】(Quasar)

或譯為魁煞，是一種距地球非常遙遠的天體，能越過虛渺遼濶的太空，輻射出非常巨大的能量，使科學家不得不相信這種巨大能量的產生一定牽涉到某種完全不為人知的新程序。

【跨接線】(Jumper)

用作短期接觸，長度極短的導體。

【跨導】(Transconductance)

跨導是一種衡量柵極電壓控制屏極電流的效力，它可用放大因數μ和屏電阻r_p的比來表示

$$跨導(gm)=\frac{\mu}{r_p}(單位為姆歐)$$

在此簡單的公式中，gm表示屏極電壓保持不變，變更柵極電壓，對於屏極電流所生的影響。

眞空管跨導的單位常用微姆，等於一百萬分之一姆歐(mho)，此為電阻歐姆(ohm)之倒寫，因為跨導為電導的一種，恰與電阻性質相反的緣故。

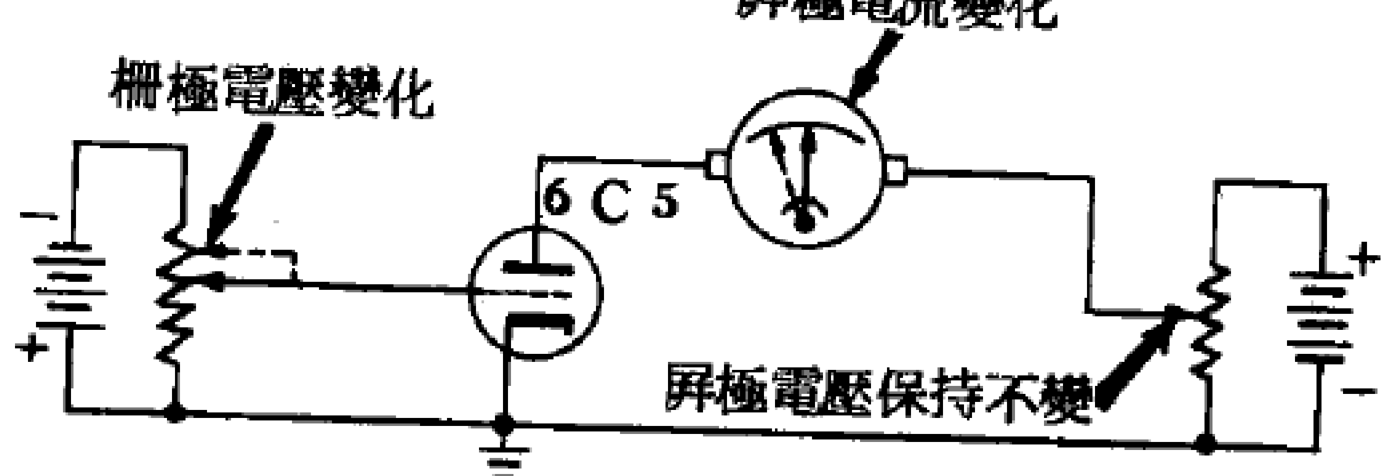


圖 13 — 134
決定三極管的跨導

大部分眞空管的gm通常約為幾千微姆，眞空管具有高值μ和低值

r_p 者，有高值的 gm。

【路尼歐定律】（Regnault's law）

又稱勒諾定律。在常溫中難以液化氣體的定壓比熱在相當廣的溫度範圍內與溫度無關，亦即各氣體的比熱在恆定壓力下為恆定。係路尼歐由實驗所發現的定律。此定律為欲決定理想氣體性質時可用的條件之一。

【較水輕之固體之密度測定法】（Measurement density of solid lighter than water）

設固體於空氣中測得之重量為 W，固體之下方繫以沉引（*sinker*），並使沉引單獨沉於水中（固體在空氣中）時之共重為 W_1，固體與沉引同沉入水中時之共重為 W_2，則 W_1-W_2 為固體在水中所受之浮力。故固體之密度 ρ 為

$$\rho=\frac{W\rho_t}{W_1-W_2}$$

ρ_t 為溫度 t°C 時水（或液體）之密度。

【載波】（Carrier wave）

射頻本身不包括任何信息，但必須設法使它包括或載送信息。為了這種原因，射頻信號通常稱為載波。它本身不是音信，但是它能載送音信至遠處。例如，在無線電話發射機中，由於音頻電波不能直接向天空輻射，於是將音頻信號裝載在高頻電波上，此一音頻訊號即能由高頻電波帶到遠方。載波從天線上出去，總是保持著同一頻率。這些載波，就相當於電話中電話線上的電流。電話中的載波，就是沿著電線流動的電流，無線電中的載波，不需電線來傳導，就有光速的電磁波。

電話中載波的強弱，是由於發聲聲波的強弱而成。無線電波也是一樣。在廣播無線電中，聲波敲擊著微音器一塊振動片，使電流依著聲波的強弱經過微音器。電流再從電線送到天線上，改成載波後經由天線發

射出去。於是收音機捕獲到這些電波時，就使揚聲器裏的振動片，依著遠方微音器送出的聲波而振動發聲。

較弱和較強的載波，它們的行進是同樣的快速，也是同樣來自遠方，所以我們的收音機同樣都可以收到。就如同向一面門投出一把石子再投出一粒石子，這一把石子和一粒石子同樣都會擊到門上的。

【載波電流】(Carrier current)

發射機主振器所產生之頻率，在未加入聲頻信號前的電流。

【載波電話】(Carrier telephony)

聲波的頻率約在 20 ～ 3,000 赫茲。聲波由電話機轉成電波後傳到電信局裏，局裏的傳播機把每根線傳進來的電話波與另一頻率很高的簡諧電波混合成為載波（ *carrier wave* ）。然後送入長途電話線，每一載波的頻率是一定的。這樣一根線上就可傳送許多頻率不同的載波。到另一都市的接受機裏，所有進來的載波都經過許多的濾波器（ *filter* ），每一濾波器只允許一定頻率的電波通過。這樣就可把同時傳來的許多電波分開（圖 13 — 135 ）。

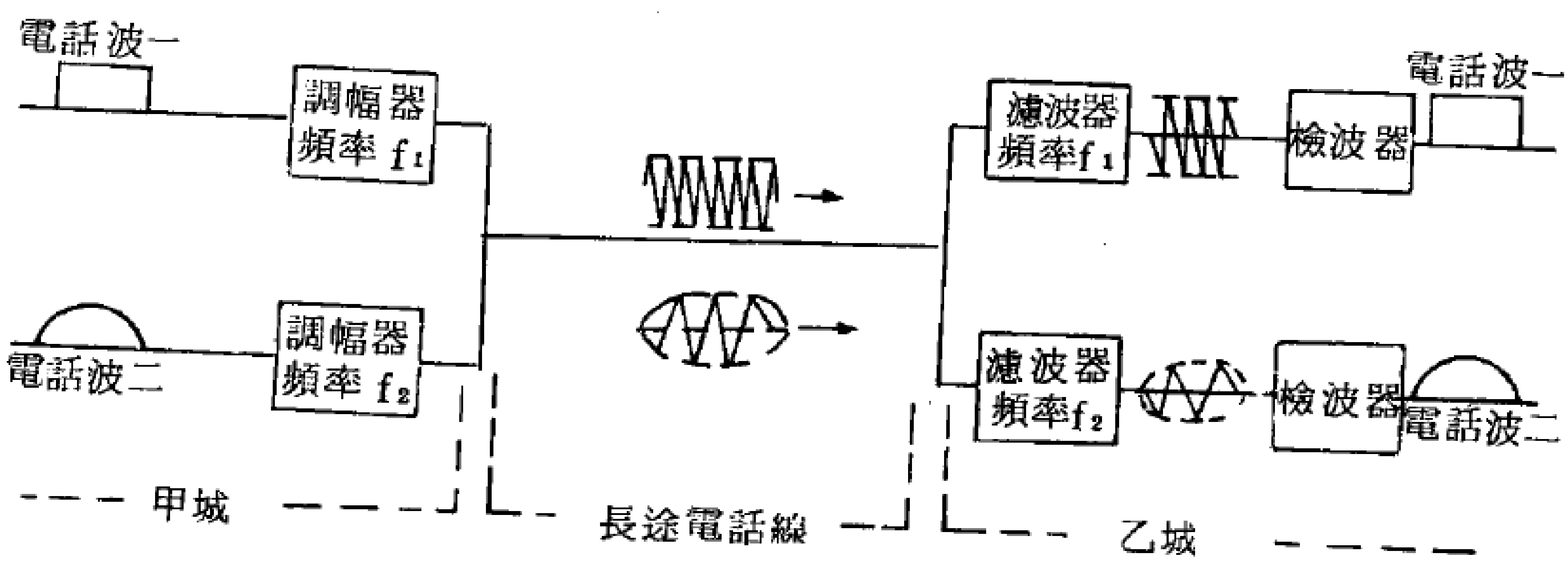


圖 13 — 135

載波電話系統內的濾波器能將許多電話波依其載波的頻率分開

濾波器有很多種。一種電信局裏常用的濾波器是利用平板共振的特性所構成的。我們暫稱之為圓板濾波器（圖 13 — 136 ）。由於平板在共振時，振幅很大。若外加的動力之頻率與板的自然頻率不同時，板雖

也振動，其振動不規則，位移也很小。圓板濾波器的兩端有力電晶體其作用在能因電波而起振動或由振動而產生電波。每一個濾波器的力電晶體接收到載波時就起振動而將振動傳至圓板的一面。若圓板的自然頻率與載波的頻率相同時，板就起共振有很大的振幅。另一面的力電晶體受到很強的振動力時就產生同樣頻率的電流。假如頻率不同時，板的振動位移很小而不影響另一端的力電晶體。如是所有頻率不合的載波就不能通過這一濾波器。

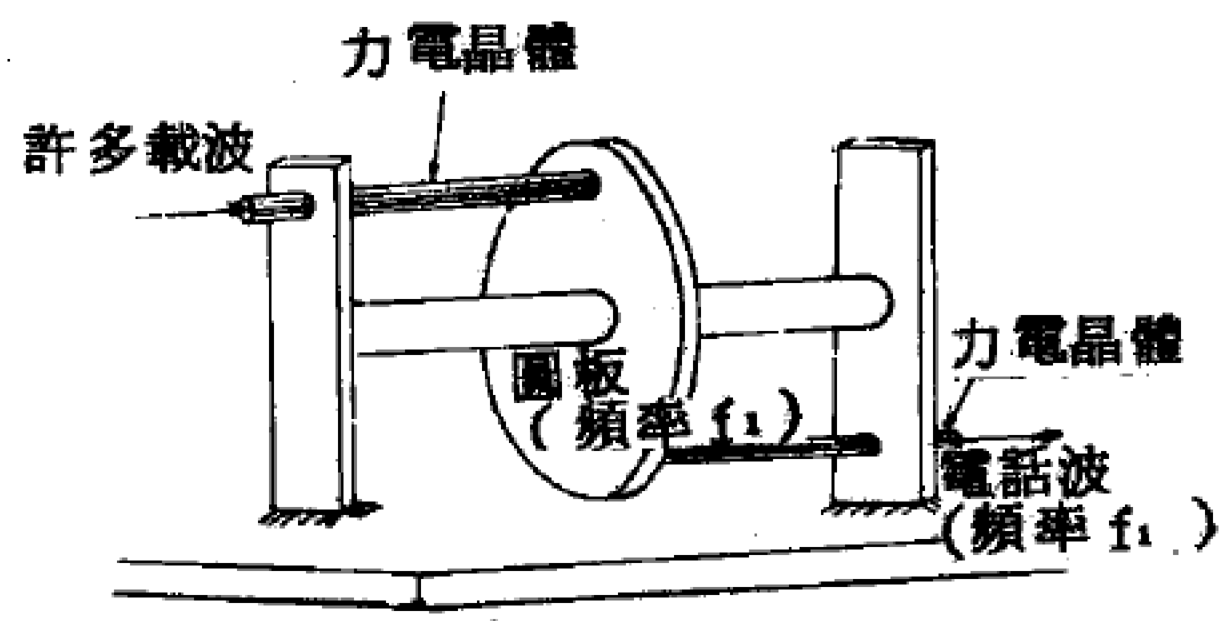


圖 13 — 136
圓板濾波器作用示意圖

【載波電報】（Carrier telegraphy）

把幾路電報訊號，利用不同頻率的電波，同時在一條線路上進行載送傳遞的一種通訊方式，叫做載波電報。採用此種通訊方式，目前在一條線路中，可以同時進行 12 路到 16路或更多路數的電報通訊。通報容量因而大爲增加。

【載流子】（Current carrier）

電流的流動必須有電位差（*potential difference*）之存在，同時亦必須有載流子的存在。所謂載流子，即爲金屬中的自由電子（*free electron*），氣體或液體中的正、負離子（*ion*）及半導體學說中假定的電洞（*hole*）；電洞即電子移開原位所留下的正性空位，由電子的移動而在理論上成爲和電子流反向的交替性流動，稱爲電洞流。

【載頻】（Carrier frequency）

無線電發射機在沒有調制時所生振盪的頻率。無論用何種方式發送信號，都必須使發射機的振盪發生某種變化（此種變化對應於所發信號），即必須經過調制，才能發送信號。但已調振盪已經不是諧振盪，而

是若干不同頻率的諧波相加的結果。由此可見，經過調制以後，除了載頻振盪外，還出現了所謂邊頻的其他頻率的振盪。此時只有邊頻包含著欲發的信號，而載頻內則什麼信號也沒有，因而對於信號發送來說，載頻並不是必須的。

【載體】(Carrier)

載體是一穩定同位素或普通元素，加有一些和本身相同元素的放射性原子，如此所形成的放射混合物之量要足夠處理，或產生的放射混合物會和穩定同位素一樣具有相同的化學或生物反應。載體也可以指一種加入微量的其他物質之物質，它能攜帶這微量的他物質通過一些化學、物理或生物反應。

在半導體中，專擔任輸送電流的電子或空穴者，亦稱載體。

【載體壽命】(Carrier lifetime)

純淨半導體受熱激動或其他作用時，所含電子與電洞的數目不再固定，會有電子、電洞的成對產生，或是因再結合的作用而成對毀滅。平均言之，電子與電洞在再結合毀滅前會生存一段時間，這段時間稱爲電子（或電洞）的平均壽命。載體的壽命範圍自 10^{-9} 秒到 10^{-2} 秒，由這些值的大小可以知道電子和電洞再回到平衡值所需要的時間，這在半導體裝置的設計上非常重要。

【載體濃度】(Carrier concentration)

分負載體（電子）濃度 n 與正載體（電洞）濃度 p 兩種載體濃度。爲 P 型半導體時 $p \gg n$，若爲 N 型半導體，則 $n \gg p$。載體濃度可以統計方法處理而得下列結果：

$$n = N_C \exp [-(E_C - E_F)/kT]$$

$$p = N_V \exp [-(E_F - E_V)/kT]$$

$$np = N_C N_V \exp [-E_G/kT]$$

式中N_C與N_V爲在導電帶與價帶的電子數，E_C與E_V爲在導電帶及價帶的能量，E_F是費米能，E_G是能隙。上式的結果與實驗的比較如圖 13—137 所示。載體濃度與載體的性質有重要的關係。

參閱"載體遷移率（*Carrier mobility*）"條。

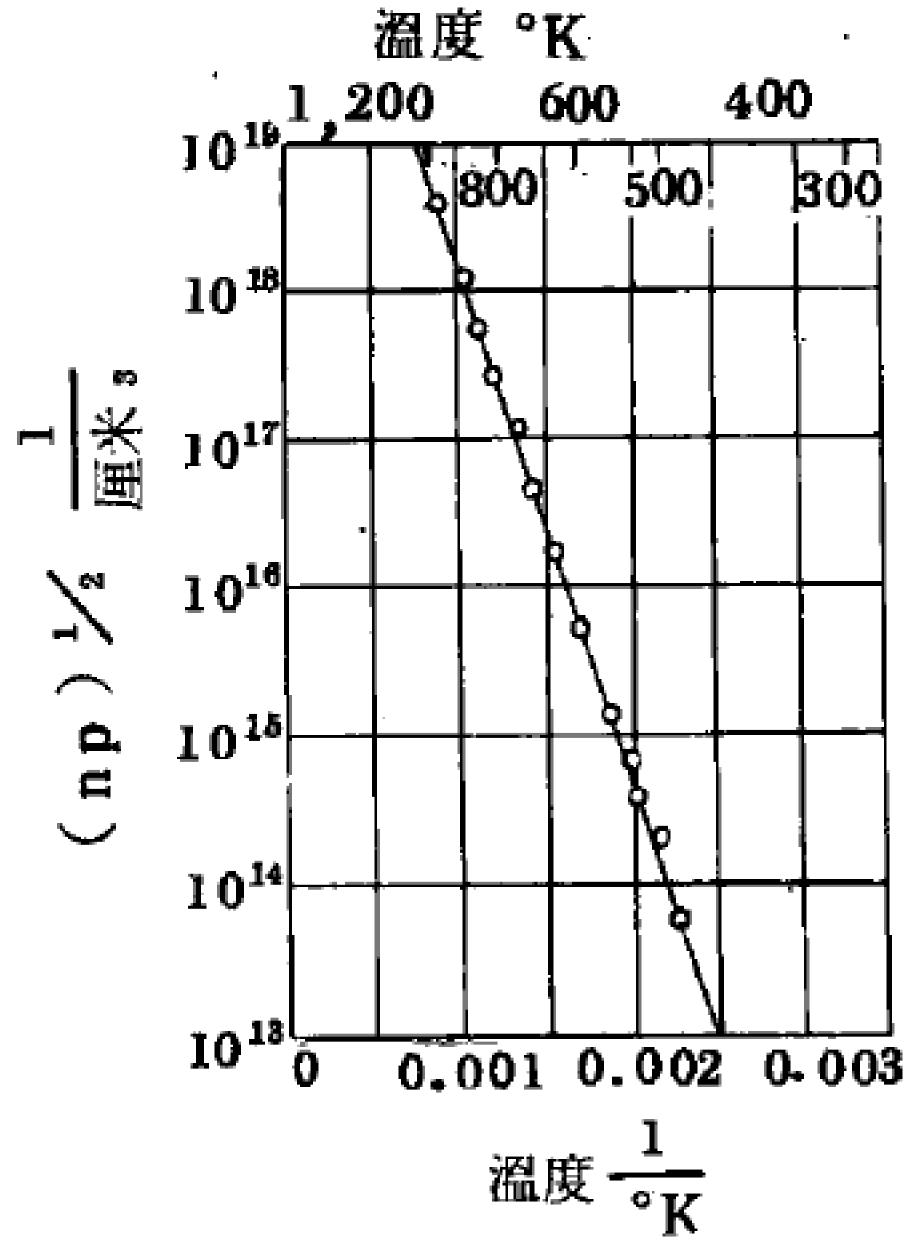


圖 13—137

【載體遷移率】（Carrier mobility）

遷移率的定義是每單位電場的相對移動速率的大小，可表之爲

$$\mu = |v|/E$$

電子與電洞的遷移率相同，而移動速度的方向相反。一理想的純半導體，遷移率主要由電子與晶格間的散射效應而定，這是一種電子與聲子的碰撞。但在低溫時，因爲半導體多少含有雜質，故雜質原子對電子的散射效應變成主要的因素（低溫時並無聲子）。當半導體中同時含有電子與電洞時，其導電係數爲個別的總和，即

$$\sigma = (ne\mu_e + pe\mu_h)$$

式中n與p分別爲電子與電洞的濃度。將上式與靜導電係數的關係式$\sigma = ne^2\tau/m$ 比較，則得到電子的遷移率爲$e\tau_e/m_e$，電洞爲$e\tau_h/m_h$，式中τ爲壽命。

室溫時若干元素的遷移率實驗值

晶　　　體	μ_e	μ_h（厘米²/伏特-秒）
金　剛　石	1,800	1,200
矽	1,300	500
鍺	4,500	3,500

InSb	77,000	750
InAs	33,000	460
InP	4,600	150
GaSb	4,000	1,400
PbS	550	600
PbSe	1,020	930
PbTe	1,620	750
AgCl	50	———
KBr (100 °*K*)	100	———

【農神五號火箭】(Saturn - V rocket)

農神五號火箭是美國國家航空暨太空總署 (*N.A.S.A.*) 的月球探險系統的主要載具，以一組液態氧 - 液態氫引擎爲動力。

【運用角】(Operating angle)

放大器之運用角分爲三類：甲類 360 度；乙類 180 至 360 度；丙類 0 至 180 度。

【運作觀點】(Operational point of view)

愛因斯坦 (*Albert Einstein*) 以爲我們所能了解的物理學只限於我們所能量度的範圍以內，因此一切物理觀念，都必須有度量上的意義；也就是說，假如我們無法以一可行的實驗程序去度量一個觀念，則這個觀念沒有物理的意義，那麼這個觀念就必須予以放棄。這就是所謂的運作觀點。量子力學，就是建基在這基本的觀點上。

【運動】(Motion)

物體的位置，與時共變的狀態，叫做運動。在質點或質點組相對於一參考系發生位置的變化時，即謂該質點或質點組對該參考系運動。

由日常的經驗，我們知道一個物體的運動是由於它與周圍其他物體互相作用的直接結果。當一個打擊手打擊一個球的時候，他便是與它作

用而造成它的運動。一個拋射體的路徑只是它與地球互相作用的結果，一個電子環繞原子核的運動是由於它與原子核（或者還與其他電子）互相作用的結果。

【運動三定律】(Three laws of motion)

慣性定律（ *law of inertia* ）、運動定律（ *law of motion* ）以及反作用定律（ *law of reaction* ），合稱之爲運動三定律，爲一切運動的基本定律。此三定律係牛頓（ *Newton* ）所確定，故亦稱牛頓運動三定律。

參閱“牛頓第一運動定律（ *Newton's first motive law* ）”條。
“牛頓第二運動定律（ *Newton's second motive law* ）”條。
“牛頓第三運動定律（ *Newton's third motive law* ）”條。

【運動之疊合】(Superposition of motion)

如果我們向水平方向丟出一塊石子，如果沒有重力的作用，則石子將像檯球一樣，循一直線向前移動。反之，如果我們只讓石子往下掉，則石子會垂直的往下落，而速度則會繼續增加。然實際的情形則是兩種運動的疊合：石子以等速向水平方向移動，同時以加速度的方式往下落。其情形如圖 13 — 138 所示。圖中標有號碼的水平和垂直的箭頭，表示在兩種運動中所經過的距離。石子的結果位置也可用圖中的空心箭頭所在表示。這箭頭愈來愈長並繞著原點轉。

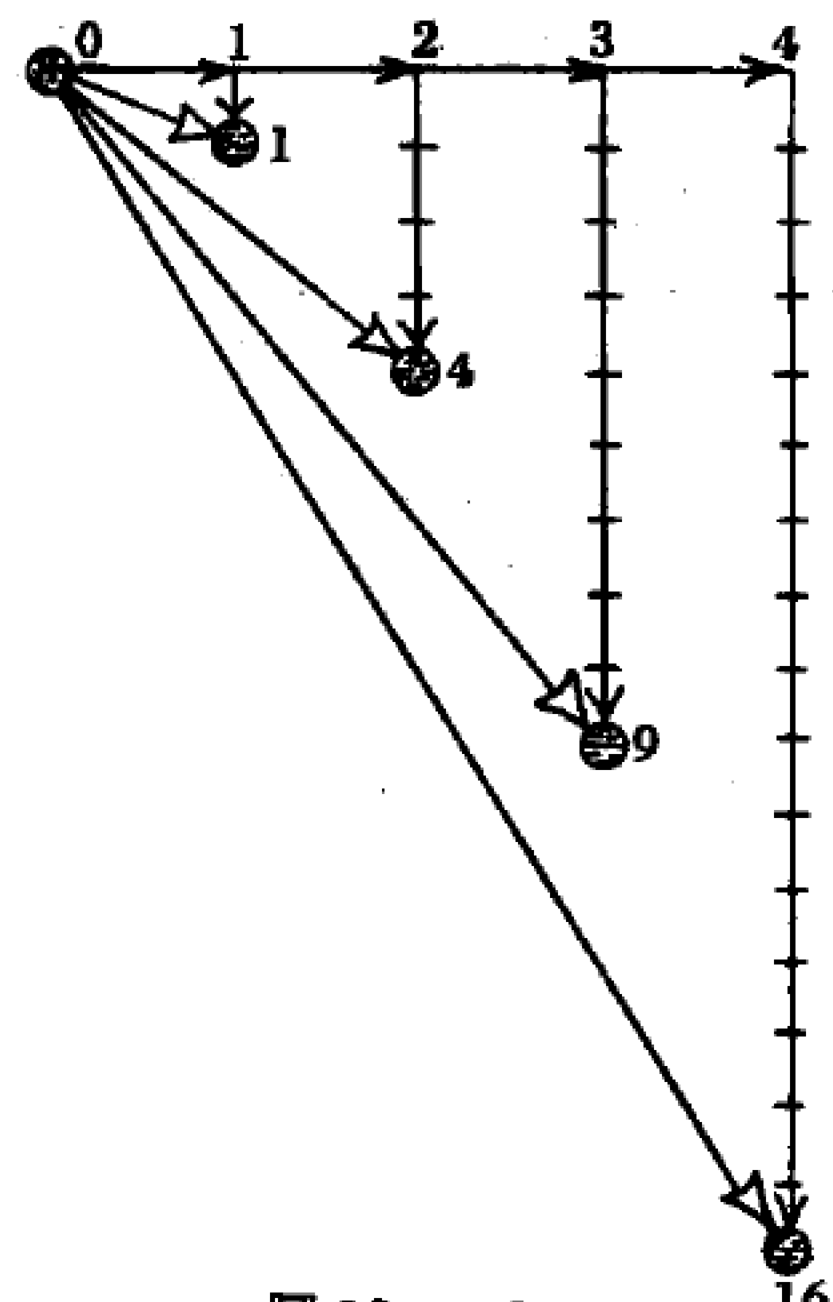


圖 13 — 138
水平的等速運動和垂直的加速運動的組合

圖 13 — 139 所示，爲一帆船同時受到風和水流兩項作用之情形。如果只有第一項作用時，該帆船在某一段時

間內一定是由*A*處被吹往*C*處；如若僅有第二項作用時，則該帆船在同一段時間內將由*A*處被推至*B*處。但實際上，我們卻看到此船抵達了一個由*A*、*B*、*C*三點所構成之平行四邊形的第四個頂點*D*處。這就是說：倘一物體同時發生兩種運動時，則該物體將抵達一個由此二運動所組成之平行四邊形的對面頂點之處（平行四邊形定律）。又上述小船如先被水流從*A*處推至*B*處，然後再被風力由*B*處吹至*D*處；或是將先後次序顛倒時，結果該船均仍然到達*D*處。根據此種道理一物體如同時發生兩種運動時，則不論此二運動是同時還是以任一次序先後發生，該物體抵達之地點均屬相同。換言之，運動乃具有自主性而決不因其他運動失卻其原有之效果。這就是所謂運動自主性定律。

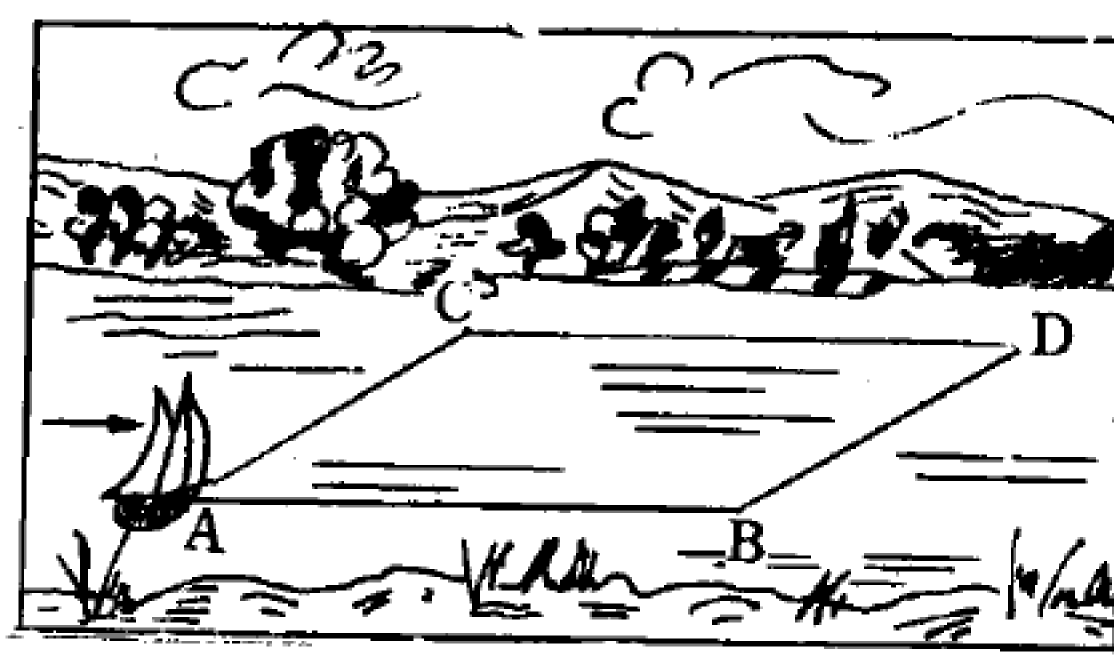


圖 13 — 139
行程合成之舉例

兩個個別運動如果是屬於同一方向（水流和風力如係同一方向），則合成運動等於個別運動之和；如果是屬於相反方向（水流和風之方向如係相反），則可由此二個別運動之差算出實有之行程。

【運動定律】（Law of motion）

乃關於物體運動的基本定律。其發展始自落體的運動定律研究，直至伽立略時，發現關於一般運動的慣性定律，繼而導入決定落體運動的重力觀念。牛頓研究加速度與力之間的一般關係，而確立了三個運動定律：

第一定律——靜止或作等速直線運動的物體，若無外力作用時，則一直維持其原來的運動狀態。

第二定律——運動的變化（加速度）與力的作用成正比，且產生在力的方向。

第三定律——作用和反作用在同一直線上，大小相等但方向相反。

此外，牛頓還加了關於力之合成的平行四邊形原理，這些定律除了解釋有關運動的基本經驗事實外，尚包括力及質量的定義。

馬赫將上述定律的內容加以整理如下：

只有兩物體相互作用時，可用各物體所獲的加速度之反比定義爲其質量之比。在各種情況下，或以任何直接、間接方法下所得的這個比始終一定，這種事實形成“質量爲物體固有的量”之理論根據，並包含第三定律的內容。力的大小可由質量和加速度之乘積而定義。更重要的是，如此定義的力，依照平行四邊形定律，可分解爲物體相互作用的力。第一定律寧可視爲選擇使上述事實成立的坐標系時的原理。又等速直線運動中包含時間的定義。

馬赫的陳述只有在常觀的牛頓力學中才有意義。若有電磁力作用時，第三定律卽須修正。又在相對論力學中，還要變更質量的定義。

【運動約束】(Moving constraints)

有時我們遇到的約束不僅和時間有關，且與質點的運動速度有關。這樣的約束稱爲運動約束。運動約束的普遍形式爲：

$$f_j(x_1,y_1,z_1,\cdots x_n,y_n,z_n;\dot{x}_1,\dot{y}_1,\dot{z}_1,\cdots\dot{x}_n,\dot{y}_n,\dot{z}_n;\ t)=0$$

$$(j=1,2\cdots\cdots s)$$

【運動窄化】(Motional narrowing)

由核磁矩的相互作用產生之不均勻磁場，磁共振的光譜線常有相當的寬度。若原子快速運動，場的不均勻性就減少，因此光譜線就變窄。溫度升高時（尤其是對液態物質），很容易見到這種現象。

【運動電荷與電流的作用力】(Force on moving charges and current)

$$\vec{F}=dq\ (\vec{V}\times\vec{B})=I\,d\vec{l}\times\vec{B}$$

式中 dq 是電荷，$\vec{V}$ 是速度，$\vec{B}$ 是磁場，I 是電流，$d\vec{l}$ 是某一小段距

離。

【運動線】（Line of motion）

即流體中各個質點所走過的路徑。

【運動學】（Kinematics）

係僅討論運動的幾何性質的學科，而不論及力和物質，稱爲運動學。其特別注重的是點和剛性圖形的運動。

舉例說，若我們能將一點的三個直角坐標表示成時間的函數，如

$$\left.\begin{aligned} x &= f_1(t) \\ y &= f_2(t) \\ z &= f_3(t) \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

則完全敍明該點的運動。在許多情況中，問題的陳述只是間接提供關於上述方程式的資料。例如，問題中可能告訴我們線性速度或線性加速度的分量與時間的關係，或是與距離的關係。這時我們首先得到的是微分方程式，例如

$$\frac{d^2x}{dt^2} = a$$

解這方程式可得 x 方向的運動狀況

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$$

式中 x_0 和 v_0 是積分常數，分別代表開始運動時（$t=0$）的位置和速度，就是起始條件（*initial condition*）。由（1）式中消去時間 t，則可得到三個幾何方程式，分別含有（x, y），（y, z），（z, x），而決定該點的運動路程。

在討論剛體的運動學時，我們可藉類似（1）式的方程式，表示剛體內一特定點的位置，但是我們還得引入一組方程式，以表示該物體相對於一組特定坐標軸的方向，那組特定坐標軸以前述特定點爲原點，而且它不作轉動，只作平移運動。

【運算單元】(Arithmetic unit)

在電子計算機中，一具體附屬裝置，可作算術和邏輯的運算。

【運輸性質】(Transport property)

通常與某些物質或粒子的流動過程有關的性質，我們統稱爲運輸性質。例如傳熱、導電以及與瞬時的電子分佈有關的各種性質。這類性質源於物系在近似部分熱動平衡時，其各子物系 (*subsystem*)間因未達平衡狀態，而引起熱運動或分子碰撞，這類運動造成物理量的交換，其平均量不等於零，而向某一部分傳運。這種傳運現象就導致各種不同的運輸性質。

【運輸現象】(Transport phenomena)

除了由於外力所引起的不平衡現象以外，還有一種不是由外力的影響而存在的不平衡情況。譬如說，把一個金屬棒的兩端保持在不同的溫度，就金屬棒來說，就不是一個平衡物系。實驗上，能量以熱流的形式從高溫的一端流到低溫的一端去。研究這種不平衡的物系，單靠統計力學已不夠用，而必須藉助於運動論來看看能量到底如何傳遞。其他如流體的黏滯性 (*viscosity*)，或氣體的擴散 (*diffuse*) 等都是類似的現象。這一類現象有一個共同的特徵，就是物系近似處於部分熱動平衡狀態 (*partial thermodynamical equilibrium state*)。 因爲各個子物系 (*subsystem*)間未達平衡狀態，所以由熱運動或分子碰撞而造成的物理量的交換，平均起來不等於零，而向某一部分傳遞 (如果整個物系處於平衡狀態，那麼子物系間任何物理量的交換，平均都是等於零)。這一類的現象叫做運輸現象；即有某種物理量藉分子運動和分子碰撞而傳遞於那些不相平衡的子物系之間。

【遍體力】(Body force)

作用於物體各微小部分的力稱爲遍體力，其大小和各微小部分的體積成正比。重力即爲一例。

【遊星】(Wandering star)

恆星以外，另有少數並無一定組別可分的天體，它們在恆星之間不斷地移動其位置，此稱為遊星。

【道爾頓】(John Dalton 1766 — 1844)

英國化學家及物理學家，1766 年九月六日生於英格蘭西北部，幼承庭訓，後入鄉下學校攻讀，十二歲時即任教該校。1781 年離家赴肯德（*Kendal*），在其兄之學校中任助手，在此獲盲人科學家古夫（*John Gough*)之賞識，教道爾頓習科學及文學，並鼓勵道爾頓研究氣象。自 1787 年起道爾頓卽保持氣象日誌達五十七年之久，記載二十餘萬次之觀察。

道爾頓以其原子論而聞名，1803 年發表論文"氣體的吸收"，說明所倡的理論，並完成最初的原子量表，定氫的原子量為一。此文中還包含有道爾頓的分壓定律。為了解釋大氣的擴散，道爾頓論定不同氣體的原子佔有不同的體積。其偉大著作為*New Systems of Chemical Philosophy*一書，假定化學化合是各種元素結合的結果，相信一元素的所有原子都相同，原子看不到也不能損毀，並訂定以原子數目為根據分類化合物的系統。

1793 年道爾頓移往曼徹斯特任教，以後一直定居於此。1844 年七月二十七日逝世。

【道爾頓定律】(Dalton's law)

是在一定體積內有數種氣體混合時，其混合氣體的壓力等於各氣體在同一溫度單獨存在於該體積內時的壓力的總和。此定律為 1802 年道爾頓所發現，各成分氣體單獨存在時所示的壓力稱為該氣體的分壓。所以道爾頓定律亦可寫成，"混合氣體的壓力等於各成分氣體的分壓之和"。道爾頓定律在各氣體為低密度（即為高溫低壓時）時近似度較佳，但密度愈高則近似度愈差。

【達立子圖樣】(Dalitz plot)

係分析一個粒子衰變爲三個粒子($A \rightarrow a+b+c$)的反應過程最有效的方法，由英人達立子於 1956 年發明的。設 A 的質量減去其他三個粒子質量之和爲 M，a 的動能爲 T_a，衰變前 A 靜止，則由能量守恆得：

$$Mc^2 = T_a + T_b + T_c$$

c 爲光速，每次衰變相當於一個等邊三角形內的一點，所有符合動量守恆的點應在與此三角形相切的封閉曲線(如不考慮相對論效果則爲一圓)之內(見圖 13 — 140)。由點在曲線內的分佈可以決定 A 的性質，如自旋、宇稱等，並可分析衰變過程中電荷共軛不變性是否成立。若 $A \rightarrow B+C$ 但 B 是共振態立即衰變爲 $a+b$，由達立子圖樣可以決定 B 的質量和共振寬度。

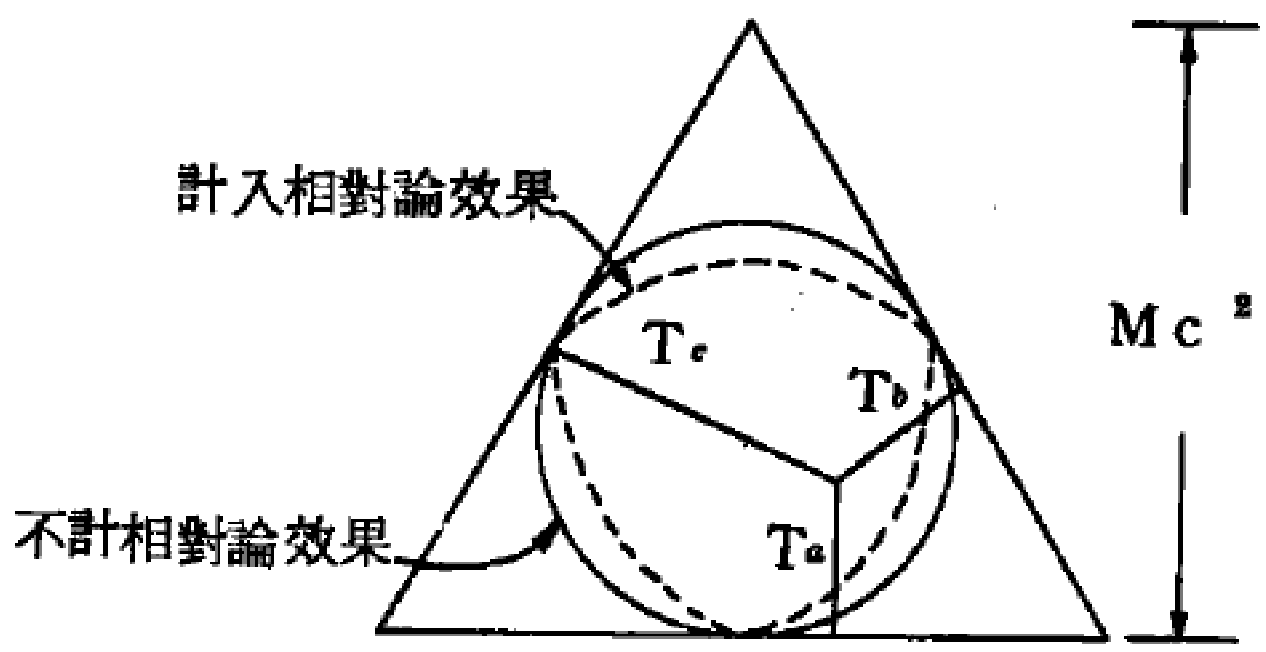


圖 13 — 140
達立子圖樣，實線圖代表不計入相對論效果之圖樣，虛線代表計入相對論效果之圖樣。

由於此等圖樣在分析終態能量分佈時極爲有效，因此予以推廣到其他各種類型之反應過程的終態能量分佈上，如對於 $A+B \rightarrow C+D+E$ 之反應中，若定義

$$(P_C + P_D)^2 = s \qquad (P_D + P_E)^2 = t$$

P_C、P_D、P_E 分別爲 C、D、E 粒子的四維動量，則終態的能量分佈爲一對 s 及 t 的封閉三次曲線，此曲線的詳細性質則由反應時的總能量及各反應粒子的質量而定，其周界則由能量守恆及動量守恆的極限條件決定，所有不違反能量守恆及動量守恆的終態能量分佈組合均必須在此曲線內，迄未發現任何事件位於這種曲線之外，這亦可作爲能量守恆及

動量守恆的實驗證明。

【達因】（Dyne）

力的C.G.S.單位，相當於使一克質量的物體，維持1厘米/秒²的加速度所需之力。此單位不受重力影響，故稱爲力的絕對單位。

【達朗白原理】（D'Alembert's principle）

對於一個受力質點的運動，牛頓第二定律爲 $\vec{F}=m\vec{a}$。如果我們將方程式兩邊同加一項（$-m\vec{a}$），則方程式變成

$$\vec{F}+(-m\vec{a})=0$$

其中（$-m\vec{a}$）可以看作一個虛構的力，而此式則爲一個諸力互相平衡的質點的方程式，於是一個動力學的問題便可以簡化爲靜力學的問題來解出，這個原理首先由達朗白發現，故稱爲達朗白原理。（$-m\vec{a}$）項便稱爲逆有效力（*reversed effective force*）或達朗白力。

一般在運用達朗白原理解動力學的問題時，常配合虛功原理而運用。此原理的觀點卽是：牛頓第三定律（反作用定律）對於完全自由運動的物體亦能適用，正如對靜態平衡中的固定物體適用一樣。

【達朗白詭論】（D'Alembert's paradox）

若有一外物靜止不動，讓流體流過它（這和"外物在流體中作等速運動"是同一現象），如是，流體在離那外物很遠的地方，就都在作等速運動。這一流態可用圖13—141來表示。在定常流時，流體質點都沿流線運動，在離那外物很遠的地方，流線都是直的，而且流體都以同樣的流速U在運動。因此我們如果在這空間取一大圓柱，計算一下單位時間內流進這圓柱的動量。因爲流速

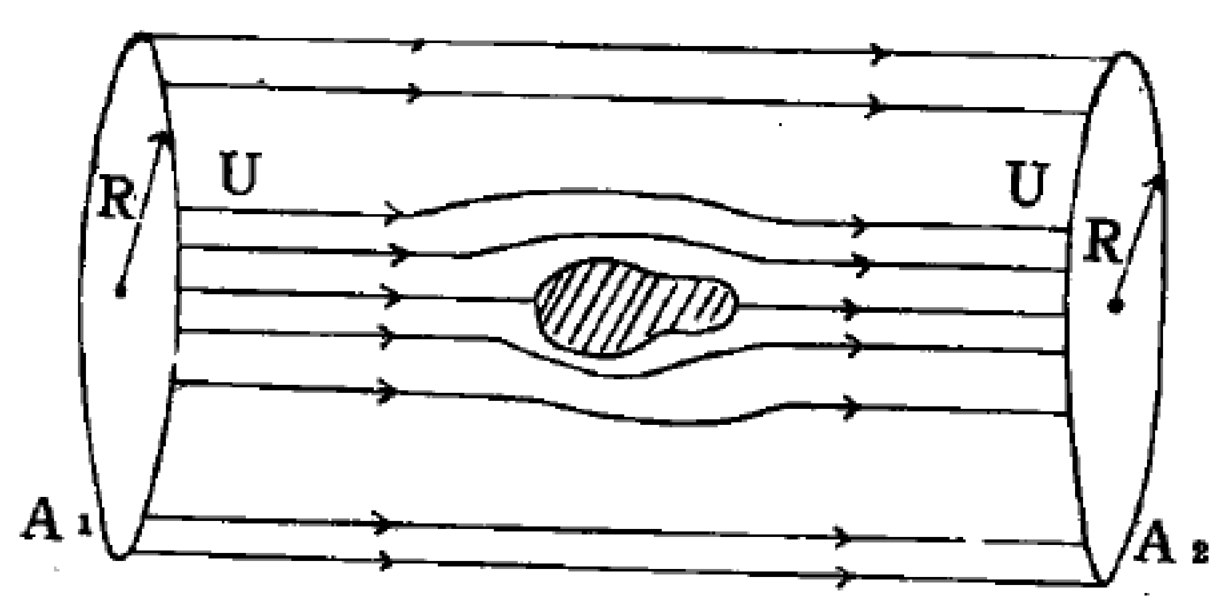


圖13—141

的方向就是柱軸的方向，所以沒有任何動量可以從圓柱的周邊流進。動

量只能由柱的兩端流進流出。在A_1這邊，單位時間內流進的動量是$\rho U \times \pi R^2 \times U = \pi \rho U^2 R^2$。可是在$A_2$這邊，單位時間內流出的動量也一樣是$\pi \rho U^2 R^2$，正好抵銷。所以單位時間內流進圓柱內的總動量是零。同時，因為流速都是U，所以根據白努利方程式（*Bernoulli's equation*），圓柱上所受壓力也都一樣。因此，這圓柱所受外力的總和也是零。也就是說，要維持這一外物在這樣流動的流體中，一點力都不用費。換句話說，如有外物在流體中作等速運動，也不會受到任何阻力。這一結果當然與我們的經驗及觀察結果不符。這就是所謂的達朗白詭論。就實際流體而言，因為都有黏性，所以一定會在物體表面上產生邊界層而引起阻力。即使是理想流體，對加速度運動的物體，也會有相當於假想質量的阻力作用。

【遇險信號】（Mayday ；S.O.S.）

（一）*Mayday* 是移動電臺遇險時作呼救用（無線電話專用）。

（二）*S.O.S.* 遇險信號乃表明船舶、飛機或其他移動電臺，現已瀕危，並要求立即援助之意，原意含有“ *save our ship* ”或“ *save our souls* ”的用意。

【遏止柵】（Suppressor grid）

電路圖中用（*Sup*）代表電子管的遏止柵。這是五極管的第三柵極，位於簾柵極和屏極的中間。遏止柵極與陰極聯接在一起，這就使屏極附近的電場的性質有了根本的變化。在沒有遏止柵極時，屏極附近的電場可能是由屏極發出（如果簾柵極的電壓低於屏極電壓），也可能是向著屏極（如果簾柵極的電壓高於屏極電壓），在有與陰極相聯的遏止柵極時，電場便永遠是由屏極發出。故在裝有遏止柵極時，從屏極飛出的二次電子受到屏極與遏止柵極之間的電場的作用，仍然回到屏極。由此可見，遏止柵極阻止著簾柵極截獲從屏極飛出的二次電子，也就是防止負阻管效應的發生。

【過阻滯】(Over damped)

參閱"阻滯振盪 (*Damped oscillation*) "條。

【過度冷卻】(Supercooling)

加熱於一固體，其溫度一達熔解點時，固體立即熔解。惟如將液體謹愼的冷卻之，使不受任何振動，則有時可令其溫度降落至其凝固點以下而仍不凝固；例如水可冷卻至 − 10 °C 而仍不凝結。此現象名爲過度冷卻。

【過剩反應率】(Excess reactivity)

超出達到臨界狀態所須的反應率。過剩反應率加入反應器 (加更多燃料) 以補償燃耗及運轉中分裂產物聚積所生的中子毒物 (***neutron poison***)。

【過量充電】(Overcharge)

蓄電池裝配完成後，初次充電常作過量充電，目的使電池各極板有充分的化學作用，對電池以後使用的效能非常有關。

【過量放電】(Overdischarge)

所有蓄電池充入的安培小時數，必要比放出的多，大都在充電時，使安培小時比放電多 10% 至 20% 。過大的放電率會使電池壽命縮短或損害。

【過渡金屬】(Transition metal)

如鉻 (*Cr*) 、錳 (*Mn*) 、鈷 (*Co*) 、鎳 (*Ni*) 、銠 (*Rh*) 、鈀 (*Pd*)等金屬元素，它們在自由原子狀態時都有未塡滿的 *d* 層電子殼層。因爲內層電子對結合能也有很大的功效，所以在固體狀態時，它們都有很大的結合能。此外它們多半有強的順磁性或鐵磁性，但導電性較低。這類元素稱之爲過渡金屬。

【過渡時間】(Transit-time)

電子通過電子管空間所費的時間。

【過渡粒子】(Transition particle)

在次原子粒子中除質子、中子和電子之外，如微中子(*neutrino*)、介子(*mu meson, pi meson , tau meson , theta meson, kappa meson*)、反質子(*antiproton*)、λ粒子(*lambda-λ particle*)、Σ粒子(*sigma-σ particle*)等，存在時間極爲短暫之粒子稱爲過渡粒子。

【過渡過程】(Transient process)

卽電路中由一個穩定狀態過渡到另一個穩定狀態的過程。例如電路接入或斷掉電源時所發生的過程。在外部作用變化很快時，例如接收快速信號時，過渡過程起著極端重要的作用。由於具有過渡過程，電路中的狀態就不能準確地隨著外部作用而變化，這就使信號的形狀發生失眞(*distortion*)。爲了減小這個失眞，過渡過程的持續時間應當遠小於信號電壓的增長或降落的時間。過渡過程的持續時間問題在發送短脈衝時(如在雷達或脈衝通信中)具有特別重要的意義，因爲爲了進行短脈衝的發射，過渡過程的持續時間應當非常短暫。

【過載】(Overload)

當輸入信號過強加入放大器時，輸出信號卽生失眞現象，該放大器名爲過載。

【過載保險】(Overload protection)

自動防護過額電流與電壓之設備。

【過載繼電器】(Overload relay)

當電路上之電流超過預定數值時，繼電器卽不生效用。

【過熔】(Super-fusion)

加熱於物質，使之熔融後，靜置之使之冷卻，溫度雖降至其凝固點以下，其物質尚不凝固，若以其物質之一小片投入，則立刻全體凝固，此種現象，謂之過熔，或謂之過熔解。

【過飽和】(Supersaturation)

如飽和蒸汽完全不與液體或其他雜質相接觸，則其溫度雖降至液化點以下，有時此蒸汽仍不凝結。此時蒸汽之密度，較與其溫度相對應之飽和密度爲大；此種狀態，名爲過飽和。

【過熱液體】(Superheated liquid)

如液體甚爲純淨，則有時其溫度可增至沸點以上而仍不沸騰。但如略有擾動，則液體將立作甚強烈之沸騰，而其溫度將降至與其所受壓力相對應之沸點之值。在此種狀態時之液體名爲過熱液體。

【過熱蒸汽】(Superheated steam)

將飽和蒸汽導入另一筒內使不與其液體接觸而後熱之，其溫度仍可漸增。此時之蒸汽名爲過熱蒸汽。在動力廠中常使用過熱蒸汽，譬如由鍋爐產生的水蒸氣爲飽和水蒸氣，通過管子或自管中出來急遽膨脹時，會冷卻而立即變成水滴。如把這種蒸汽直接使用於蒸汽機，則效率很低，也易故障。因此在鍋爐中發生的蒸汽，再予加熱使其成爲高溫、高壓的過熱蒸汽。在壓力爲 $30\,kg/cm^2$ 的鍋爐中，約到 $233\,°C$ 時，所有水份都變成蒸汽，如再把它加熱到 $300\,°C$ 的過熱狀態，雖膨脹而變成位壓，也不馬上液化。把這種蒸汽使用在蒸汽機或蒸汽渦輪機時，雖然受冷卻，也不致立即變成水滴而可順利推動機器。

【過調制】(Over modulation)

不論調頻或調幅，因調制時能力過度所引起者。例如，調幅超過百分之百時，發射機發出的已調載波將會發生斷截現象，接收機接得此種電波時，失眞是十分嚴重的。

【鈮】(Niobium；Nb)

原子序爲 41 之第五族的過渡金屬元素，舊名爲鈳(*columbium*；*Cb*)。其爲銀白或灰色的金屬，不易氧化失色。比重爲8.57，熔點2,468°C，沸點4,927°C，加熱方能與氧或氯作用，除硝酸及氫氟

酸外，不溶於其他酸液，能與熔融之鹼化合。在低溫時鈮有超導性。

鈮之最主要礦物爲鈳鐵礦（$FeCb_2O_6$, *columbite*），其製法爲將氯化鈮以鈣、鋁或氫還原或以鈉與鈮的氟化物作用，亦可將氧化鈮與碳化鈮共熱而得金屬鈮。

鈮用於合金鋼中，眞空管中氣體的吸附劑，其碳化物硬度高且耐高溫，可製工具。鈮與錫的合金Nb_3Sn用於製造超導電磁鐵。

【鈷】(Cobalt ; Co)

鈷爲鐵灰色金屬，堅硬但亦有延展性，並具磁性。比重爲8.9，熔點1,493°C，沸點3,550°C。可溶於稀鹽酸及硫酸中，易溶於硝酸。第八族的過渡元素，原子序爲27。

鈷的主要礦石爲砷鈷礦（$CoAs_2$, *smaltite*）、輝砷鈷礦（$CoAsS$, *cobalt glance*）等。礦石經煅燒成氧化鈷後可以鋁粉還原得鈷金屬，亦可電解鈷鹽溶液而得。

鈷主要用於製造合金剛及永久磁鐵。鈷的化合物廣用於化學反應、電鍍、瓷體、催化劑、顏料等。

鈷-60 的同位素放射β及γ射線，半衰期5.3年，用於放射治療術。

【鈷-60】(Cobalt-60)

鈷-59受中子打擊後可以形成較重的同位素鈷-60，具有放射性，可用來治療癌症，把它裝進細尼龍管中，縫合在患癌的部位，這些放射性原子，放出β和γ射線，足以破壞患病的組織。在割除癌性腫瘤後，外科醫生也常用這種尼龍線縫進組織中，以防止任何可能殘留下來的癌細胞。或是把鈷-60直接注入腫瘤內。此外鈷-60也可以作人體血液內維他命B_{12}的示蹤劑。

【鈷彈】(Cobalt bomb)

假如把一個核武器置於鈷中，則當核武器爆炸時，會同時產生大量

的具有放射性的鈷－60。這種武器（到目前爲止，僅是理論上存在而已）除了具有強大的爆炸力外，另具有高度穿透力及長時間延續性的由鈷－60所釋放出來的γ射線。

【鈽】（Plutonium；Pu）

最初，在自然界礦藏中並未發現鈽，鈽之產生乃由下述核反應而得

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U$$

$$^{239}_{92}U \xrightarrow{23.5\text{分}} ^{239}_{93}Np + e^{-}$$

$$^{239}_{93}Np \xrightarrow{2.35\text{日}} ^{239}_{94}Pu + e^{-}$$

鈽爲半衰期極長之α放射性元素（$T_{1/2}=24,000$年，與^{235}U一樣甚易由低能量的中子引發核分裂，裂變所生之能量爲201MeV，平均有2.9個中子放出。

由於反應器中一般均存留大量^{238}U，由其吸收中子經兩次貝他衰變後，即可得^{239}Pu，這是目前大量生產^{239}Pu的方法。在反應器中已用過的燃料取出後，以化學方法分離而得鈽。

^{239}Pu的分裂特性與^{235}U相似。由化學方法獲得較純之^{239}Pu比由同位素分離法獲得^{235}U簡便得多。故當初人們即考慮以鈽作分裂原子彈的原料，目前也考慮將鈽與鈾混合作反應器燃料。

鈽甚毒，一旦進入人體後即存留於骨骼中，人體能忍受的最大限量爲0.4微克。

【鉭】（Tantalum；Ta）

第五族之元素，原子序爲73。一種堅硬金屬，在強力發射管中，用以製造屏柵電極之原料。

【鈾】（Uranium；U）

一種原子序數爲92的放射性金屬元素，在自然界礦石中發現的鈾平均原子量約爲238，其中主要的二種同位素爲鈾－235（含量佔天然鈾之0.720％）是可分裂的，以及鈾－238（含量佔天然鈾之99.274

%）是可孕分裂的。天然鈾礦亦含有微量的鈾 - 234（含量佔天然鈾之 0.006）。鈾是核能的基本物質。

鈾本身爲銀色光澤金屬，在室溫空氣中會急速氧化成黑色氧化鈾之表面，鈾密度達 19 克 / 厘米^3，熔點爲 1,133°C。

鈾爲核分裂反應器的燃料。在以重水或石墨作緩速劑的反應器中，天然鈾即可直接利用爲燃料。但在輕水反應器中必須以濃縮鈾（即將 ^{235}U 成分提高）方可達到臨界運轉。

鈾同位素 ^{234}U 及 ^{238}U 屬於鈾、鐳系（$4n+2$），因此系中各元素的原子量均可以 2 +（4 × 常數）之式表示之。金屬鈾有三相態：(1) α 相（低於 663°C）。(2) β 相（663°C ～ 764°C）及(3) γ 相（764°C ～ 1,133°C）。凡處於 α 及 β 相的結晶體形態時，金屬甚易因受熱或放射性照射而變形。由於合金的特性可將 α 及 β 相成分減低而得多爲 γ 相合金。由與鉬（*Mo*）、鈮（*Nb*）、鋯（*Zr*）或鈦（*Ti*）的合金均可達成此目的。通常金屬鈾乃自 UF_6 中加鈣或鎂於 1,500°C 還原而得。氧化鈾中氧與鈾之比端視其形成時的溫度而有所差異，通常用作燃料者均介於 UO_2 及 U_4O_9 之間。氧化鈾能耐高溫，惟導熱性能不佳，是其用作燃料的缺點。

鈾的發現者爲德國科學家克拉卜（*Martin Henrich Klaproth*），他在作有關瀝青礦的實驗時，從礦中分離出一種黑色粉末狀的物質，其化性與他所知道的任何元素都不同。也沒有人能檢定它，也不知其用途。克拉卜將它定名爲鈾（*uranium*），以尊敬天王星（*Uranus*）。至今才知道黑色粉末其實不是純鈾而是其氧化物。

在以後的一個世紀內，科學家們對這種奇異的物質沒有進一步的發現，直到法國科學家貝克勒（*Henri Becquerel*）發現了一件驚人的事

實。即是將一些物質暴露在強光下，再拿到黑暗中可發光的事實。有一次他不經意地將一些包有鈾鹽的紙包放在黑暗的抽屜裏，而且在抽屜裏也放有照相底片，過了幾天，他驚訝地發現這些底片變黑了，就如曾經暴露在光線中一樣。由於在抽屜裏沒有別的東西，他確定這能量的來源是鈾鹽，一再的實驗也證明了這並不是偶然可以發生的。

如此，克拉卜的神秘鈾在 107年後突然升到燦爛的地位。它似乎有著難以置信的能力即在一瞬間放出能量，也就是說不必先暴露在任何其他的能源即可自行放出能量。幾年以後，居里夫婦研究鐳元素的性質（鐳也是由同樣的瀝靑礦中提出的）；而將這種現象命名爲放射性。同樣的，鈾具有放射性才能幫助探礦員知道它在地球上分佈的位置，利用蓋革計數器及其他儀器探測放射性以確定鈾礦所在地。

【鈾分裂時鐘】（**Uranium fission clock**）

中子和 ^{235}U 或 ^{239}Pu 的原子核碰撞，可能使此原子核分裂成大約相等的兩個碎片，同時放出中子和能量。這就是著名的中子引發分裂的過程，也就是反應器和原子彈產生核能的方法。鈾最常見的同位素 ^{238}U，也可以由分裂作用而解體，但此作用由它本身完成，不需要任何外來中子的作用。這種作用叫做自發分裂（ *spontaneous fission* ）。它的發生就像放射衰變一樣的漫無目的。自發分裂很少發生，而且它的半衰期很長，約一千萬代（ *aeons* ）（一代等於 10^{9} 年）；這個意指著：^{238}U 每發生二百萬次阿伐衰變，才發生一次自發性的衰變。因爲 ^{238}U 幾乎到處都存在，所以要作個有用的時鐘，這已經足夠了。

我們先設想在某種礦物中有一個 ^{238}U 的原子。突然這個原子發生分裂了，它分裂成二個碎片，同時放出大量的能。像砲彈一樣，這二個碎片朝著相反的方向急速前進，在它們穿過四周的晶體結構時，沿途大肆破壞。在它們與其他的原子發生碰撞而漸漸減速至最後停止之前，它們走過的距離大約爲 10 微米。在晶體各部留下像受到強烈損害的小管一

樣的碎片路徑。這種作用，在有人能從晶體中發現這些分裂痕跡（受損害的小管）之前，很早就被人瞭解了。其後，約在 1960 年，三位在美國通用電子研究實驗室工作的年輕物理學家福萊許爾（*R. L. Fleisher*）、普萊斯（*P. B. Price*）和瓦克爾（*R.M. Walker*）想到用酸來蝕刻晶體的新裂面的觀念。照他們的推理，因分裂碎片通過而後受到強烈騷動的地方，應該比裂面四周未受騷動的地方更容易蝕刻，且要深刻些。這個觀念是正確的，而且今日我們幾乎可以在每一個常見的礦物中，發現一些分裂的痕跡（因爲幾乎所有的礦物都含有少量的鈾）。

這個鈾分裂時鐘方法的工作原理是這樣的：用合適的溶劑蝕刻晶體或玻璃碎片的裂面（或磨光的表面），使分裂的痕跡顯現出來。不同的酸對不同的物質效用不同；對每種物質，必須特別發展一套適宜的手續。然後，我們可以在顯微鏡下觀察並計算這些分裂痕跡。通常，它們在顯微鏡下呈現出圓柱形的小坑。

其次，把試樣放在核反應器中，用已知量的慢中子照射。新的分裂因此產生，但此次只發生於 ^{235}U，因爲慢中子不使 ^{238}U 對裂。經過中子照射後，我們再蝕刻上述的那面，並且計算出新產生的痕跡。舊的痕跡受到兩度的蝕刻，顯得更大了，因此我們能將它們和 ^{235}U 產生的新痕跡分開。

我們知道 ^{238}U 因分裂而衰變的速率 λ_f，和阿伐衰變速率 λ_α，以及該試樣在反應器中所受的慢中子的總數 n。此時晶體（或玻璃）的年紀可以用下列公式求出：

$$t = \frac{1}{\lambda_\alpha} \ ln \ \left(1 + \frac{nN_s}{N_i} \times C \right)$$

此處 N_s 爲試樣中的原子數，N_i 爲照射過的試樣中的 ^{235}U 的原子數，而且常數 C 之值爲 $\frac{1}{2} \frac{\lambda_\alpha \times 582 \times 10^{-24}}{\lambda_f \times 137.7} = 4.25 \times 10^{-18}$ 。

用分裂痕跡的方法定年是一門新技術，目前只發展了一部分。它的應用範圍很廣，而且能用於許許多多的礦物。

【鈾系】（Uranium series）

亦稱爲鈾－鐳系，是從鈾-238放射衰變所產生的一系列的核種。此系的終產物是鉛-206。許多人造核種也能蛻變到本系。鈾系放射性元素表之如圖13－142，因此系之親元素及各子元素之質量數均可以$4n+2$表之（n爲正整數），故此系又稱爲$4n+2$系。此系由鈾開始，一連串放出α及β粒子，經由鐳、氡、鐳A（RaA）……至質量數206、原子序82之鐳G（RaG）止。鐳G爲鉛之同位素，已無放射能力。圖13－142中RaA及RaC等處有一分支（*branching*）現象，此乃由於部分RaA原子放出α粒子另部分放出β粒子之故。

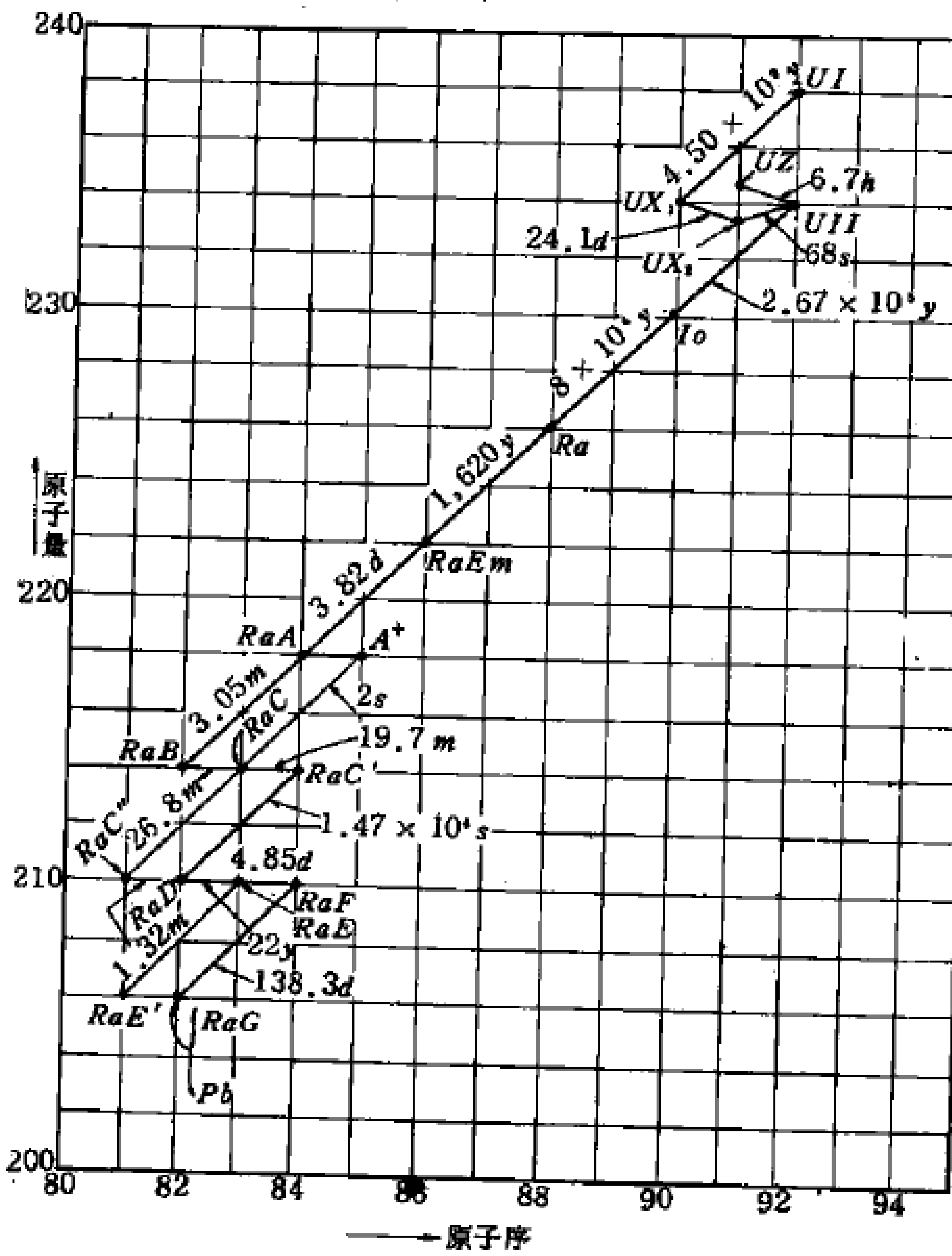


圖13－142　鈾（4n＋2）系放射性元素蛻變圖

【鈾－鉛計時法】（Uranium-lead dating）

放射性元素的衰變與物理化學上的環境無關，給了我們一個極有價值的方法以估計古老地質的形成。地質學家研究各種史前沉積物的厚度並且把它們與所估計的沉積層的形成速率作一比較，而能大致的說出這個時期是在多久以前，但由這種方法得的日期並不十分精確。一種更爲精確和可靠的方法是基於對火成岩的放射性質的研究，這是在1913年由若利（*Joly*）和拉塞福（*Rutherford*）提出的，而且很快地在考古

地質學上被大衆所接受。鈾是所有屬於鈾家族放射性元素的家長，其蛻變（*disintegration*）的最後產物是穩定的鉛同位素 ^{206}Pb。

火成岩是由於過去激烈的火山爆發使熔解的物質經過地殼的裂縫從地球的內部被壓迫而流到火山斜坡上而形成。噴出的物質很快的凝固，並且在本質上經過幾百萬年都不曾改變。少量的鈾嵌在岩石塊裏，鈾會穩定的衰變，而在這衰變中產生的鉛會沉積在同一點。岩石凝固後所經過的時間愈長，則沉積的鉛對剩下鈾的相對量愈大。因此，測量在各種火成岩中的鈾對鉛的相對量，可得到關於它們的起源及發現地方其地質沉積年代的極精確資料。此外利用包含在古老岩石的銣（*Rb*），測量剩下的銣與沉積的鍶（*Sr*）之間的相對量，也可以同樣的測出結果。這種方法比用鈾－鉛的方法多了一個好處，因爲我們只需考慮一個單一的轉換而代替了在鈾家族的一長系列的轉換。事實上，鈾家族中的一個分子是氣體（雷射氣或氡），它會從它形成的位置逃逸掉，而導致對岩石年代的過低估計。

【鈾濃化】（Uranium enrichment）

詳閱“同位素濃化（*Isotopic enrichment*）”條。

【鈾變物】（Uranium product）

鈾變物乃由鈾繼續輻射後所形成之各種人造元素，且在週期表中順序排列。如錼（93）、鈽（94）、鋂（95）、鋦（96）……等等。

至今此類元素未見有任何利用性，但其在科學上之意味十分重要。在美國及蘇俄，其巨大通量之反應爐仍在建立以利其生產，且在多數實驗室中研究其性質。

【鉛直透視式投影】（Over-lead projection）

爲最近逐漸一般化的投影方式。此方式投影，應使由聚光透鏡出來的光線以鉛垂方向進行，而透過水平方向置放的物體。投影透鏡則在物

體上方，並在透鏡上方置一約 45° 傾斜的平面鏡，即可將影像投射在屏幕上。如圖 13 — 143 所示。

現成品有一種使用夫累涅爾透鏡爲聚光透鏡的大投影面投射器。也有講解用投射器，教師用油鉛筆寫在塑膠紙或玻璃紙的字或圖將越過教師頭上，投影到背後的影幕上。

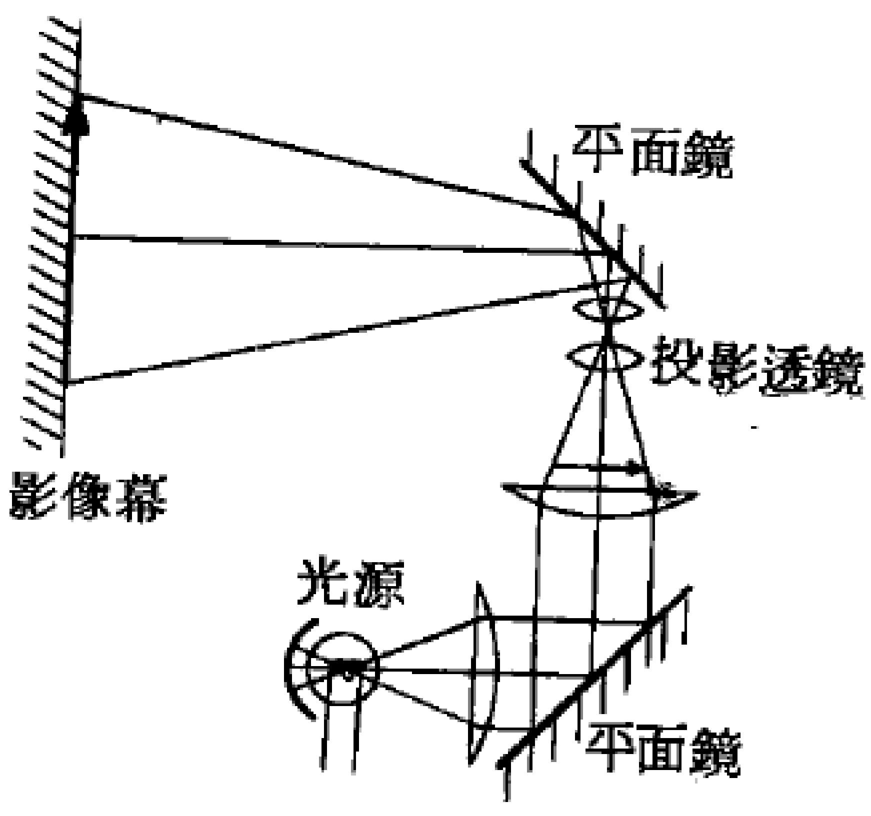


圖 13 — 143

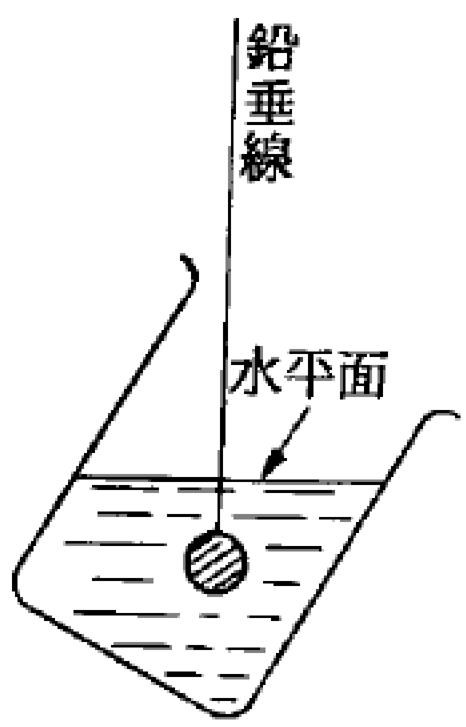


圖 13 — 144 鉛垂線

【鉛垂線】(Plumb line)

用線懸物體，線的靜止方向必依重力的方向，此線稱爲鉛垂線。如圖 13 — 144 所示，用細線吊起一個重錘時所形成的直線，其方向係指向地心。

【鉛蓄電池】(Lead storage battery)

鉛蓄電池的結構包括過氧化鉛製成的正極板，由海綿狀鉛質製成的負極板及間隔物；電解液是由純淨的硫酸和水調和而成的稀硫酸溶液。此式電池今日應用最廣，其優點是應用時之溫度限制較寬，而且內阻較低。其構造如圖 13 — 145 。

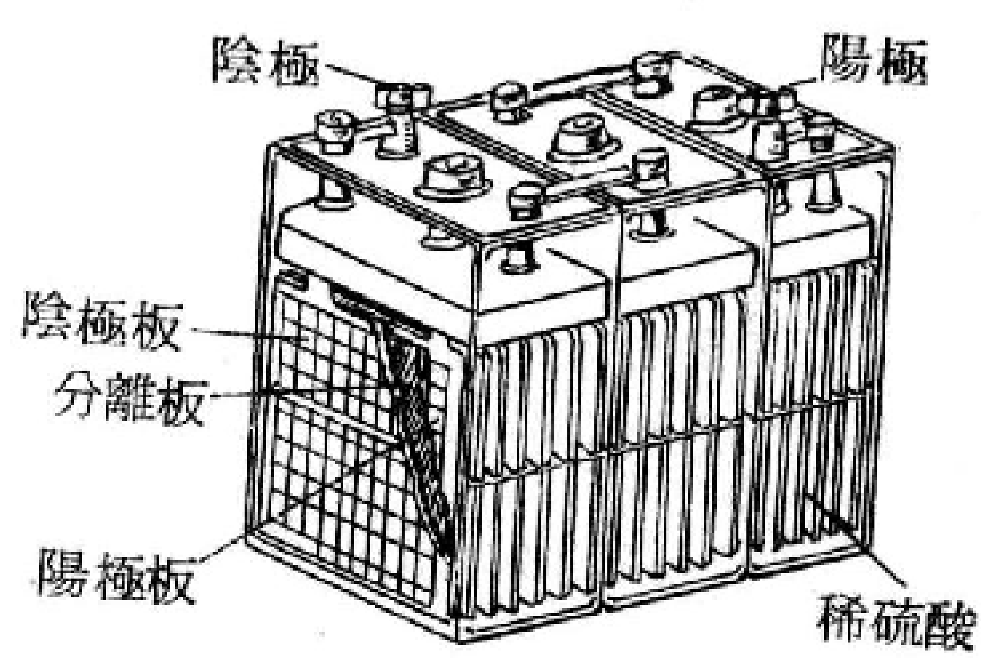


圖 13 — 145 鉛蓄電池

【鉛學】(Plumbology)

研究鈾和鉛而探討地球的歷史及地球內部進行的作用，稱之爲鉛學。

鉛學學者最偉大的成就是計算地球的年紀。最先在 1946 年有德國物理學家豪特曼斯 (*Houtermans*) 與英國地質學家霍姆茲 (*Arthur*

Holmes）分別提出計算地球年紀的構想，最後在 1953 年時巴特生（*Pattarson*）使其臻於完美。雖然發現此方法的途徑絕非容易，事實上它只是非常簡單的計算。

科學家由研究太陽系力學，很合理地確定地球與其他星球以及它們的衞星，都在一個相當短（就地質學而論）的期間內，由相同的作用形成。形成的過程可能費了千萬年，但和形成後所經過的時間相比，這只不過是一眨眼的工夫。此後不久，地球變爲熔融狀態，鐵大量地往中心沉澱，結果形成地心（或許在別的星球上，也有類似的核心形成）。因爲同類元素有化學親合的作用，鐵下沉時，攜帶了一些鉛。同樣的，矽向上升時，也帶著鈾上升到地表。現在的地球上，幾乎所有的鈾都集中在上層（卽地殼）。大陸下的地殼大約有 25 哩厚，在海洋下的部分可能要薄些。

鉛學學者能斷定，這項早期迅速而世界性的鈾鉛分離發生於何時。此後就是他們所指的“地球的年紀”。當豪特曼斯第一次寫到它時，他把它稱爲“鈾的年紀”。

鈾的一種同位素 ^{235}U 衰變速率較鈾的另一種同位素 ^{238}U 幾乎快 6.3倍。它們分別衰變成鉛的二種不同的同位素。因此，如果我們能決定地殼中的自然鉛的平均組成，並且在地心（圖 13 — 146）取得同種類的鉛，我們就可以算出原始鉛（*primordial lead*）（像地殼中的鉛），由於鈾衰變而逐漸增加最後變成地殼中的現代鉛（*present-day lead*），一共經過多長的時間。而且，霍姆茲、豪特曼斯的計算有一點頗值得注意，

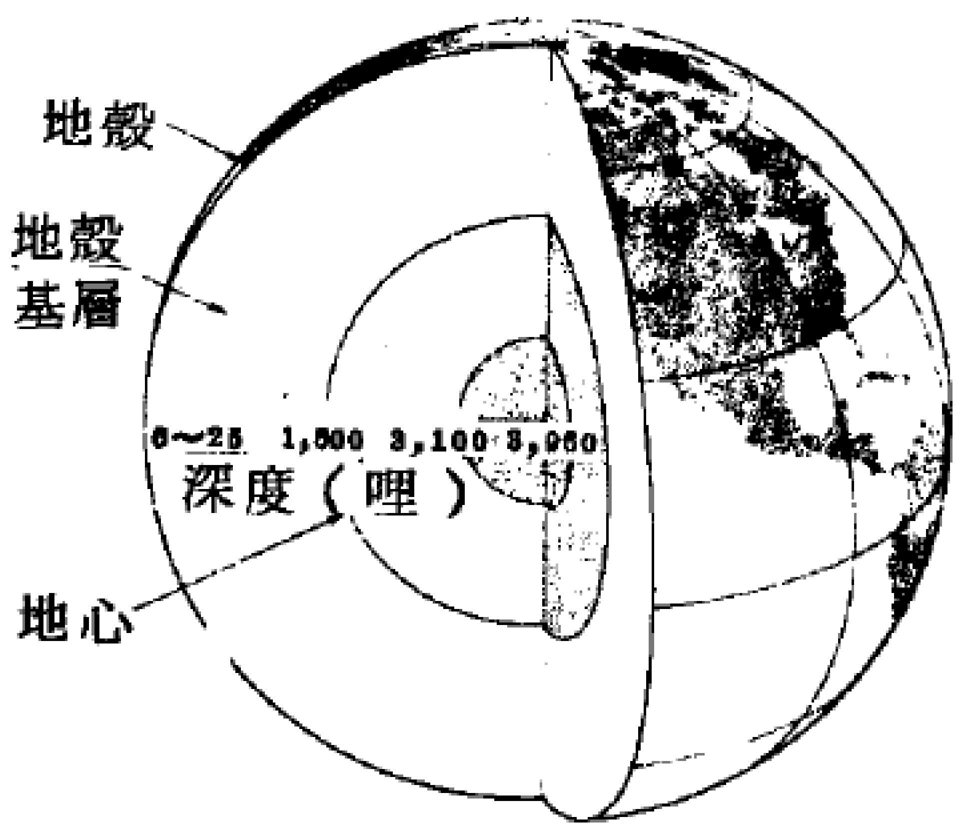


圖 13 — 146

地球的內部構造。中央的核心部分可能是鐵和鎳的合金，覆蓋於它的外圍的是密度較小的矽酸鹽物質，與更薄的矽酸鹽形成的地殼。

那就是含有鈾濃度的每一項在計算式中都消去了，需要考慮的只有同位素的比和它們的衰變常數。這些我們都可以很準確地知道。

因為來自不同礦場的鉛在地質學上有不同的歷史，它們的同位素組成有很大的變化，它們是四種天然同位素 ^{204}Pb、^{206}Pb、^{207}Pb和^{208}Pb的各別混合物。所以從礦場中取得鉛的試樣是不行的。地質學家已經能從離開陸地很遠的海底的新沖積物中，把鉛分離出來。這些鉛組成均勻，是地球上的河流帶入海洋的好試樣。我們也可以在高地的玄武岩中找有用的試樣，這些玄武岩是在世界各處形成岩床的黑色噴出岩，所含的鉛和上述的海洋的鉛從各方面看來都很相像。故可得現代鉛的平均值（*average present-lead*）。

但是來自地殼的鉛又如何呢？我們在何處有希望找到這種試樣？實際上，這比我們可能想像的都來得簡單。天文學家相信，很可能大部分的隕石都是以前一個行星的碎片。這個行星爆炸的原因，我們還不完全清楚。然而這個原始行星（或這些原始行星，因為原始行星可能不只一個）有一個鐵質核心（*core*），而且很明顯這個核心（或這些核心）就是繞行於太空的鐵隕石的來源。不久以前（就地質學的觀點而言），一個很大的隕石打中地球，並在美國的亞利桑那州狄亞波羅（*Diablo*）峽谷附近，造成了一座隕石的火山口（*volcanic crater*）。

在圍繞這座火山口的地方，曾經發現過許多的隕鐵的破片，而且我們可以很合理的假設這就是我們希望在地心找到的那種鐵。如同地心的鐵一樣，它混有少許的鉛。把其中的鉛分離出來，並用質譜儀分析其同位素組成，發現它很少受到鉛（由鈾衰變而成）的污染，因此它應該比地球上所發現的最古老的鉛還原始。所以我們可以假定隕石和眞正原始的鉛——地球（和原始的行星）最初形成時的鉛相近。

一旦這些測得之量可以取得，有關現代的和原始的鉛的豪特曼斯運算式就可以簡單的寫出如下：

$$\frac{\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_{\text{今日的}}-\left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_{\text{原始的}}}{\left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_{\text{今日的}}-\left(\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}\right)_{\text{原始的}}}=137.7\,\frac{e^{\lambda_{238}t}-1}{e^{\lambda_{235}t}-1}$$

今日的 ^{238}U 對 ^{235}U 之比爲 137.7 。式中 λ 爲鈾的各個同位素的衰變常數（*decay constant*）。 t 爲地球的年齡。

把實驗所得最好的鉛同位素比代入上式中，並求得 t 的解。豪特曼斯計算出地球的年紀爲 45.5 億歲。其後，其他各種推算的方法都普遍的證實此結果。

【鉛罐】（Pig）

一種屏蔽很厚的容器（通常是鉛），用以裝運或貯藏放射材料。

【閘流管】（Thyratron）

爲充有少量氣體（氬、氖或汞蒸汽）的三極管或四極管。其符號見圖13 — 147。閘流管的構造與正常的三極管或四極管完全相同，但其作用特性則異。在離化情況下，閘流管的控制柵可控制屏極起始電流。一旦有屏極電流後，控制柵卽失其控制作用。閘流管也就是一個觸發器（*trigger*），可使管中電流開始流動，如要使電流停止，則

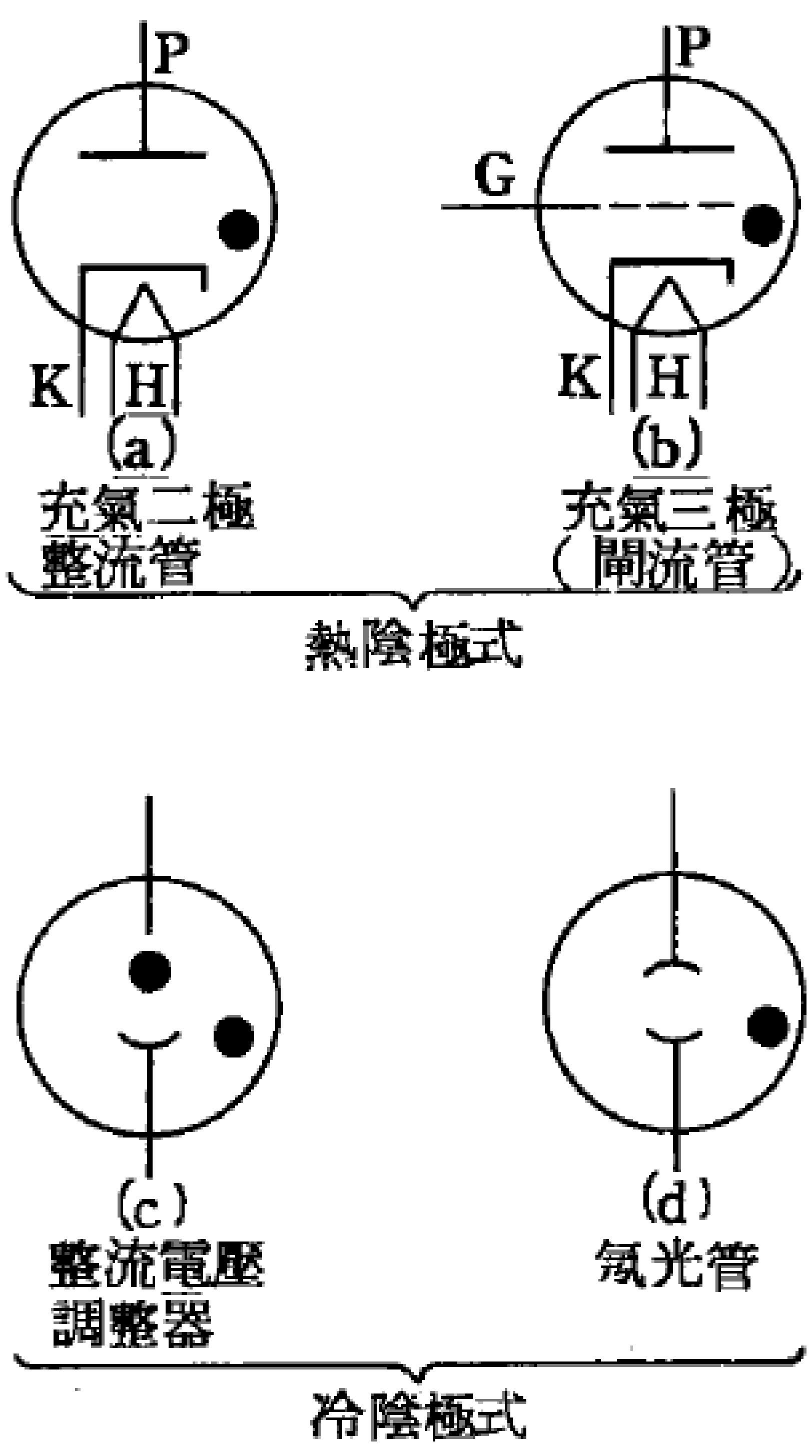


圖 13 — 147
四種充氣管的符號

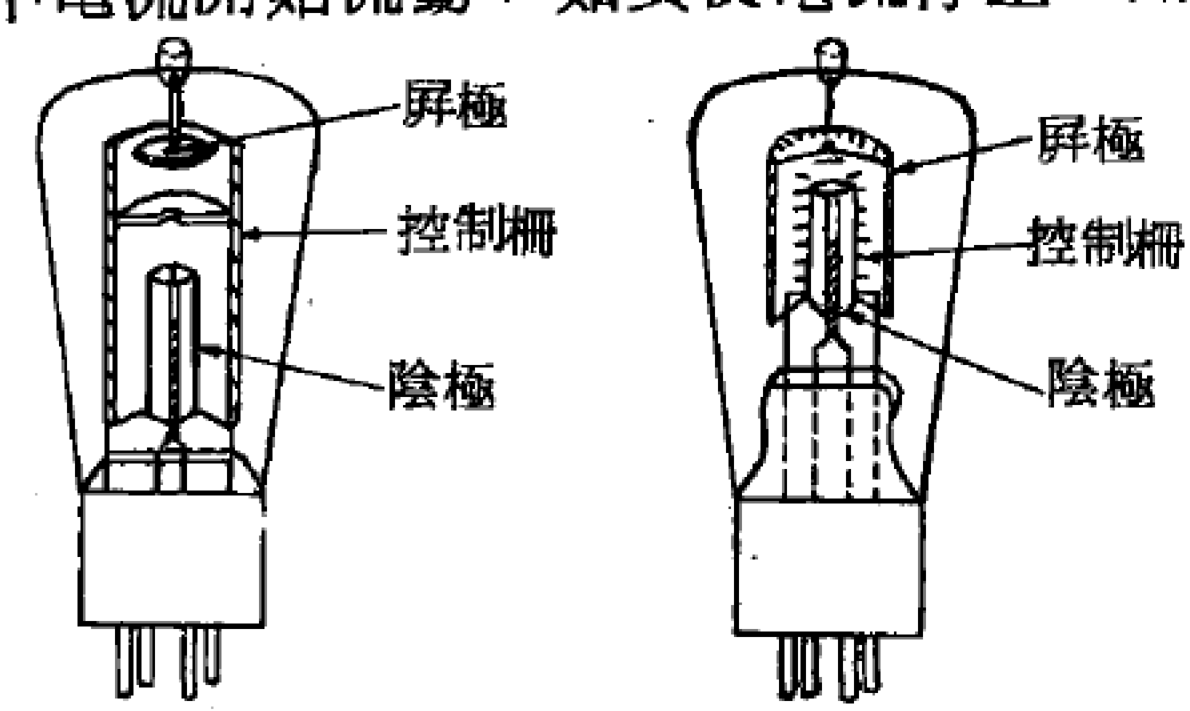


圖 13 — 148　充氣三極管截面圖

必須將屏極電壓移去。

圖13—148 中顯示了兩種不同結構的閘流管。為不同屏極電壓下，控制屏極起始電流，所需的控制柵電壓則示於圖13—149。

當控制柵的電壓達某一定負值時，陰極的放射電子就無足夠的速度衝擊氣體使其游離，所以在實用上說，此時的屏極電流為零。換言之，其控制柵負電壓減小，放射電子獲得較大的速度及動能，使管中氣體離化，並且獲得一個非常大的屏極電流，此時的控制柵電壓就是臨界柵電壓（*critical grid voltage*）。當傳導已經發生後，控制柵就失去控制屏極電流的作用。圖13—149 所示為不同屏極電壓下的不同臨界控制柵電壓曲線，曲線右面空間中的任一點均表示傳導的情況，而曲線左面空間中任一點則表示未達傳導的情況。

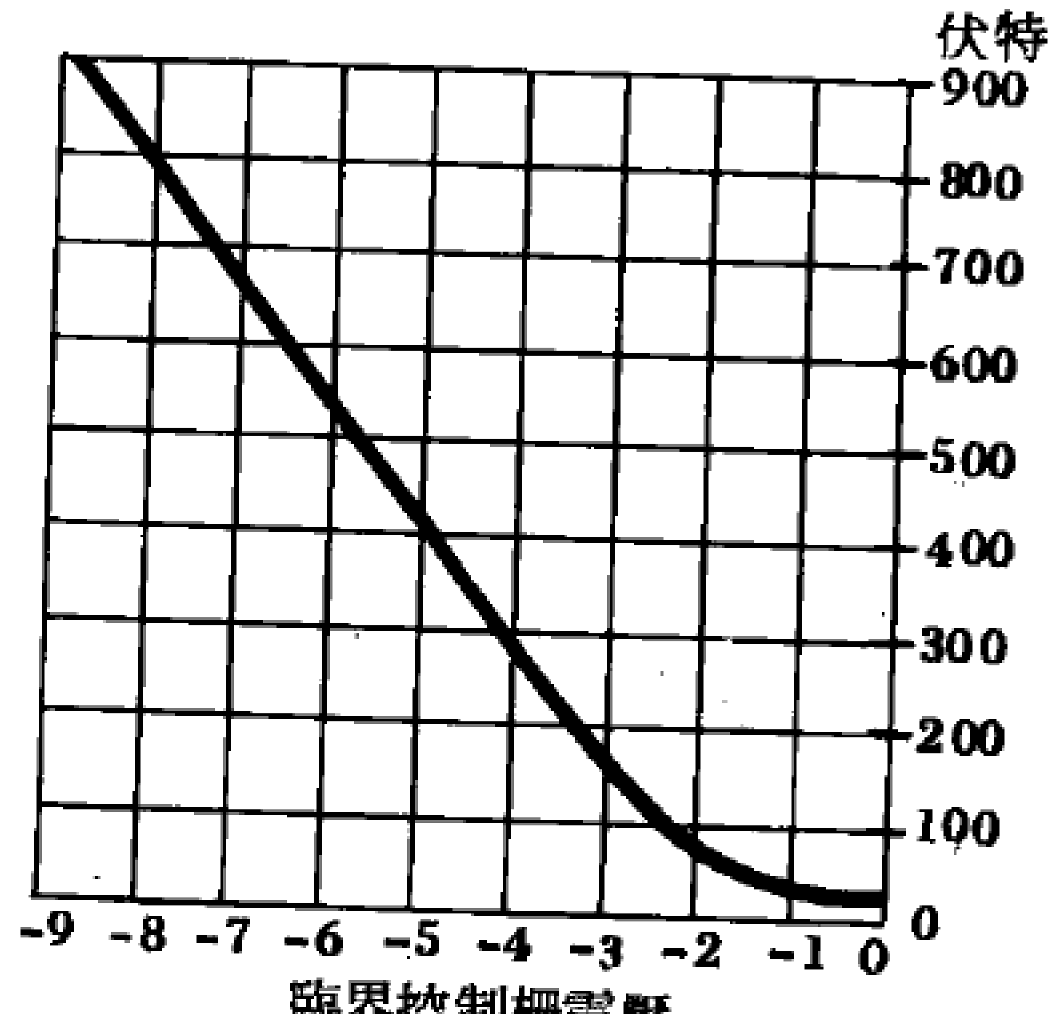


圖13—149
閘流管柵極控制特性曲線

當閘流管的傳導發生後，控制柵失其控制屏極電流的效用，所以閘流管不能做放大器用。由於閘流管的觸發特性（*trigger characteristic*）的作用，所以經常被用做繼電器（*relay*）。閘流管也可用於電視機及雷達的拂掠鋸齒波產生器（*sawtooth sweep generator*）。閘流管設計為從 10 瓦到數十仟瓦的各種不同功率。因此管子形狀在構造上也有許多不同，從充氬氣的玻璃管直到充汞氣的金屬管。閘流管具有慣性（由於停止氣體放電，需要時間，因為應待氣體電離的消失），故不能用於很高的頻率。並且另有一些閘流管專門作用於冷陰極的情況下，因此其臨界控制柵電壓為正電壓。

【隔直流電容器】（Blocking condenser；Stopping conden-

ser)

又稱阻隔電容器，此種電容器多放在電路分路，對低頻及直流電流給予大阻抗，阻隔低頻電流或直流通路，而對高頻電流形成低阻抗電路。

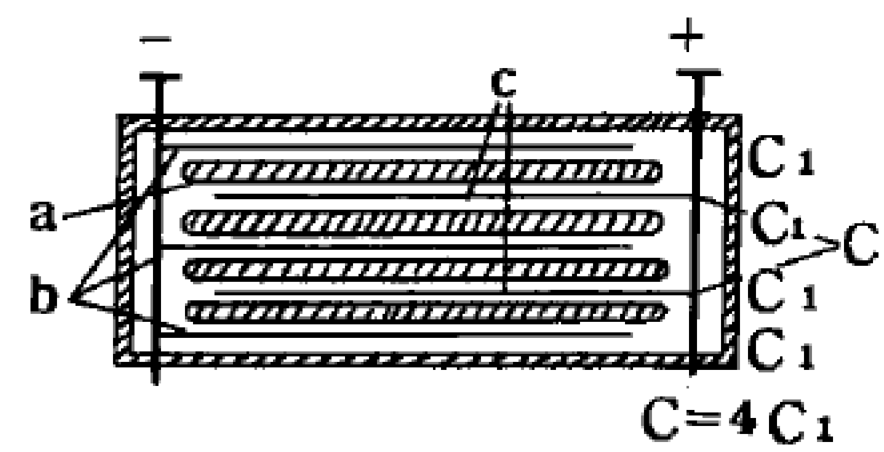


圖 13—150　隔直流電容器的構造

隔直流電容器之構造如圖 13—150 所示。用絕緣層隔開的許多錫箔，使其層層相疊，並使相間的各層互成一組。a 爲作介質用的雲母片，b 爲第一組錫箔，c 爲第二組錫箔。C_1 爲相鄰二箔的電容，故 n 塊錫箔的總電容 $C=(n-1)C_1$。式中 $n=5$，所以 $C=4C_1$。

【隔音】(Sound insulation)

這主要是應用在播音室的裝備裏。爲了保證播音室的隔音，其牆壁、地板和天花板都做得很厚實，且以傳聲率很小的材料來建造；並採取了許多措施，防止噪聲經過通風系統進入室內，裝備特殊播音室的入口等等。

【隔離】(Shield)

一金屬盒，用以籠罩電子管或線圈，免除其鄰近部分互相受磁電場之干涉，而影響其原有工作之效率。有時利用金屬板將兩個電路隔開，亦可收屏蔽的功效。

【隔離物系】(Isolated physical system)

和其他物系沒有交互作用的物系叫做隔離物系。一個隔離物系在經過相當長的時間以後，便趨於一種平衡狀態，在這個時候，它的常觀物理量趨於定值。

【隔離物體】(Isolating a body)

物體之重，乃一垂直之力通過物體之重心；連於物體之繩所加於物體之拉力，其方向係沿繩長之方向；至於在物體與光滑之他物體接觸之處，其所受之力，其方向則與可滑方向正交。倘遇數個物體互相接觸，

或藉繩互相牽引之時，則最好先將各物體一一劃出，然後再表出各個所受之力。此種步驟有時名爲隔離物體。

【隔離器】(Ionic trap)

包圍顯像管頸部的一具磁鐵及夾子，將電子流方向糾正，使之直抵簾幕。但較重的離子，因有極大之慣性，故離電子流而轉向。

【隕石】(Meteorite)

又叫大流星，它跟一般流星一樣，是從宇宙空間侵入地球大氣層的一塊物質。當它未進入大氣層以前，每一個“流星”都圍繞著太陽旋轉的。流星進入地球大氣後，常比空氣分子運動爲速；由於它的速度高，每秒鐘達數十公里，所以還在離地面100～120公里的高空，就受到空氣的強大阻力壓縮而發熱，溫度增高至二千度以上，並發出強烈的光，它的外層熾熱得火紅，表面都熔化了。這時在飛行著的隕石之後面，形成一個發光的“軌尾”，火花耀眼。它的速度往往超過三十至五十萬萬支燭光。大多數的“隕石”在離地60～40公里的高空就由於燃燒而消失，較大一些的隕石則可能在較低的空中約離地面25～10公里才消失。那時隕石體飛入更密的空氣層，它便失去了原來速度而逐漸冷卻。在這種情形下，“天上的隕石”就落到地面上來了。有史以來最大的隕石落在美國亞利桑那州，重達數百萬噸，將地面弄成一個大深坑，深六百呎，寬四千呎。

落到地球上來的隕石，數量是很驚人的，根據天文學家的探測，已經可以算出，每天落到地球上來的隕石共有一百至二百億塊，每一塊的平均重量是一毫克，這樣看來，隕石每天墜到地球上來就有十至二十噸之多。

如果從隕石落下地面的數量來說，有些人認爲地球可能會被隕石消滅，但事實並不如此，隕石不會使地球的質量發生顯著變化。從天空降下地球的物質來說，宇宙塵落到地球的質量，比隕石還要大得多，天文

學家爲了確定落到地球上來的宇宙塵數量，特别利用專門分析儀器，把宇宙塵和地球上的塵埃區分開來，結果發現落到地球上來的宇宙塵，一晝夜平均約有一千噸，乍看起來，地球質量在一晝夜中便要增加一千噸，但這些增加的物質，是遍舖於地球整個表面的。那麼，在地球表面每一單位的面積上，所落下來的隕石和宇宙塵物質就微不足道了。大約每平方里只有二克而已。因此，即使落到地球上來的隕石物質一晝夜有好幾千噸，而要在地球表面舖上厚度爲一毫米的一層，至少需要經過幾十萬年之久才有可能。

經天文學家研究之後，已證實隕石是天體的碎片，並且確定了有些隕石的年齡，有幾百萬年的，甚至有幾十萬萬年的。

以隕石本質來說，天文學家獲得一個重要的證明，就是導出一個關於整個宇宙的物質統一性的推論，天文學家已證明隕石所含的成分跟地球上普通石塊相似，它所含的化學元素跟地球上各種物體所含的完全相同。例如：石質隕石含有較大百分比的氧、矽、鐵、鎂和少量的硫、鈣、鋁等；在鐵質隕石中，卻含有大量的鐵和鎳，還有一些鈷、銅、磷、硫和其他元素等，這些化學元素，也是組成了地球上大多數的物體，而在任何一塊隕石中，卻從沒有發現過地球上沒有的化學元素。

隕石主含鐵鎳合金或結晶矽酸鹽。其矽酸鹽主爲橄欖岩或輝石及兩者之混合物。玻璃質體叫做隕玻璃的也有發現，這也可叫做隕石。但無相似的沉積岩及變質岩之發現。隕石有很多分類，今採用分類如下：

1. 隕鐵(*meteoric iron*)——主含鐵鎳合金，常附有$(Fe,Ni,Co)_3P$、FeS、Fe_3C及石墨，道不萊石$(FeCr_2S_4)$也很少有發現。這些附帶物是以小圓塊或微粒散在金屬內。金屬一般都有一個固定構造，係由腐蝕而生。這構造是由於鐵鎳合金在富於鎳的基中於高溫下慢慢結晶而生。

2. 隕石鐵(*stony iron*)—— 是以鐵鎳及矽酸鹽約同量而成。

矽酸鹽普通是橄欖岩，或有時輝石以較大圓粒在鐵鎳海綿網狀組織中發現。其他礦物 FeS 普遍存在。

3. 隕石——由組織可分為兩類：軟骨石隕石（ *chondrite* ）與無粒隕石。軟骨石隕石因含軟骨石而得名，此為小圓體含有橄欖石或輝石，有時也含玻璃。無粒隕石不含軟骨石。軟骨石隕石的平均成分約為鐵鎳 12％、橄欖石 46％、紫蘇輝石 21％、透輝石 4％及斜長石 11％、而無粒隕石的平均成分為鐵鎳 1％、橄欖石 9％、紫蘇輝石 11％、透輝石 12％及斜長石 25％。

4. 隕玻璃（ *tektites* ）——含有富於矽石的玻璃（平均約 70％ SiO_2 ）類似黑曜石。它們有一不平常的化學成分，含有高 SiO_2、高 Al_2O_3、K_2O、CaO 及低量 MgO、氧化鐵及 Na_2O 。 這成分類似少數花崗岩及流紋岩，常以小圓體（最大 200～300g ）發現在火山來源以外區域。與其他隕石不同，隕玻璃未曾發現其降落，當作隕石尚有爭論。

隕石的成分分析普通是就金屬、矽酸鹽及玻璃個別分析，然後計算其平均成分，如下表。

隕石物質的平均成分

元　　素	鐵　　鎳	玻　　璃	矽 酸 鹽	平均成分
O	—	—	43.12	32.30
Fe	90.78	61.1	13.23	28.80
Si	—	—	21.61	16.30
Mg	—	—	16.62	12.30
S	—	34.3	—	2.12
Ni	8.69	2.88	0.39	1.57
Al	—	—	1.83	1.38
Ca	—	—	2.07	1.33

Na	—	—	0.82	0.60
Cr	—	0.120	0.36	0.34
Mn	—	0.046	0.31	0.21
K	—	—	0.21	0.15
Ti	—	—	0.10	0.13
Co	0.63	0.208	0.02	0.12
P	—	0.305	0.17	0.11

雖然就隕石的每個主要成分：金屬、玻璃、矽酸鹽容易得到其平均成分，要結合此平均值而求隕石物質全體的平均勢必較困難。因由所收集的隕石的平均含量取鐵鎳、玻璃及矽酸鹽的比例是不充分的。

【電】(Electricity)

英文中的電“*electricity*”字，起源於希臘的琥珀“*electron*”一字，因爲人類在很早的時期就知道琥珀摩擦後具有吸引如稻草片或羽毛屑等輕物體的特性。

物體如玻璃棒、硬橡膠棒等，經過多次摩擦後，就可以吸引輕小的物體（如紙屑）。我們就把物體具有吸引物體的這種性質叫做物體帶電，或稱物體有了電荷。如圖 13—151 用絲線懸一木髓球而將貓皮擦過的硬橡皮棒接近此球，棒即將球吸引。球觸棒後，即帶有和棒上相同的電，又和棒相拒而分開；這時若用絹布擦過的玻璃棒近此帶電的球，則球又和棒互相吸引。

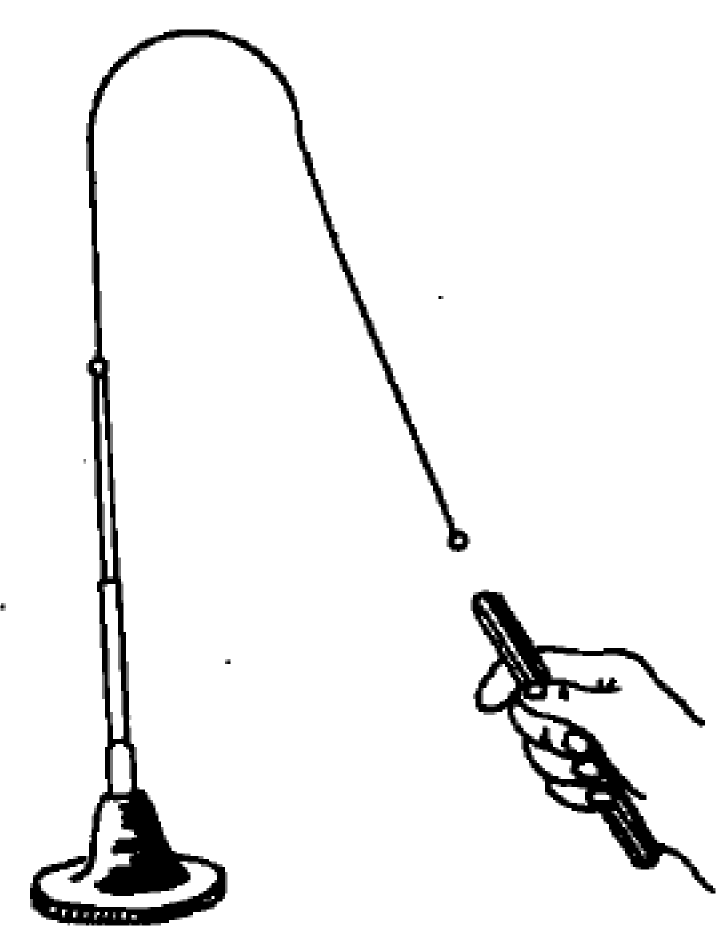


圖 13—151

由此實驗，可知電有兩種，同種的電彼此相推，異種的電彼此相引。通常以絹布擦過的玻璃棒上所帶的電，稱爲正電或陽電，用記號“＋”來表示；以貓皮擦過的硬橡皮棒上所帶的電，稱爲負電或陰電，用記號“－”來表示。

正電與負電係以相互間作用力的方向來區別，叫某一種而不叫另一種電爲“正”並無任何特別的理由，但是一經任意選定之後卽不再更動。

【電力】(Electric force)

帶電體間互相吸引或推斥的力，稱爲電力。

參閱“電力與磁力 (*Electric force and magnetic force*)”條。

【電力推進火箭】(Electric-propulsion rocket engine)

化學燃料火箭之噴氣速度，有其極限，但如果以帶電粒子代替噴出的高溫氣體，則可以突破這種限制。帶電的粒子可以加速到非常高，在加速器中射出的帶電粒子，其速度可達光速。加速一個帶電粒子需要很大的電能，如以推進劑每小時的消耗量表示時，可寫成下式的關係：

$$\text{單位時間所需之能量} = \frac{1}{2}\,\text{推進劑消耗量} \times (\text{噴氣速度})^2$$

如以火箭的衝力表示時，上式可改寫爲：

$$\text{單位時間所需之能量} = \frac{1}{2}\,\text{衝力} \times \text{噴氣速度}$$

由上兩式中可看出，當噴氣速度增加，所需用的電能也增加。假設有一個用帶電粒子推動火箭需要衝力是一磅，它的噴氣速度爲每秒五萬公尺，也就是每小時約爲十萬哩，才能使太空船在某行星附近飛行，則用上公式可以計算出需要有110仟瓦的電能來加速這些帶電的粒子，使其獲得每秒五萬公尺的速度及一磅的推力。如果使用現在的普通電廠設備來產生這麼多電能的話，我們可以想像到，火箭將因推進系統的過重及需要攜帶的大量燃料而無法達到目的，但有了核能之後，此種火箭的構想在將來會有實現之可能。

在一些長距離太空開拓任務中，推進劑消耗量較少，但因需用大量電能，而這些電能可用核能發電系統供應。電力推進火箭與核能火箭相

互比較之結果可由圖 13 — 152 的曲線看出。此曲線是以一個太空艙載有七個人飛向火星爲目標，依兩類火箭的最理想情況之下計算而得，在曲線上可看出核能火箭在去火星的任務中需時較短。經專家們仔細研究後，認爲第一個這樣的火箭可能用於在軌道中飛行的中間站或太空船的方向控制。目前美國有關帶電粒子推進火箭之研究多偏重於電熱式火箭引擎、電磁式火箭引擎及靜電火箭引擎等。

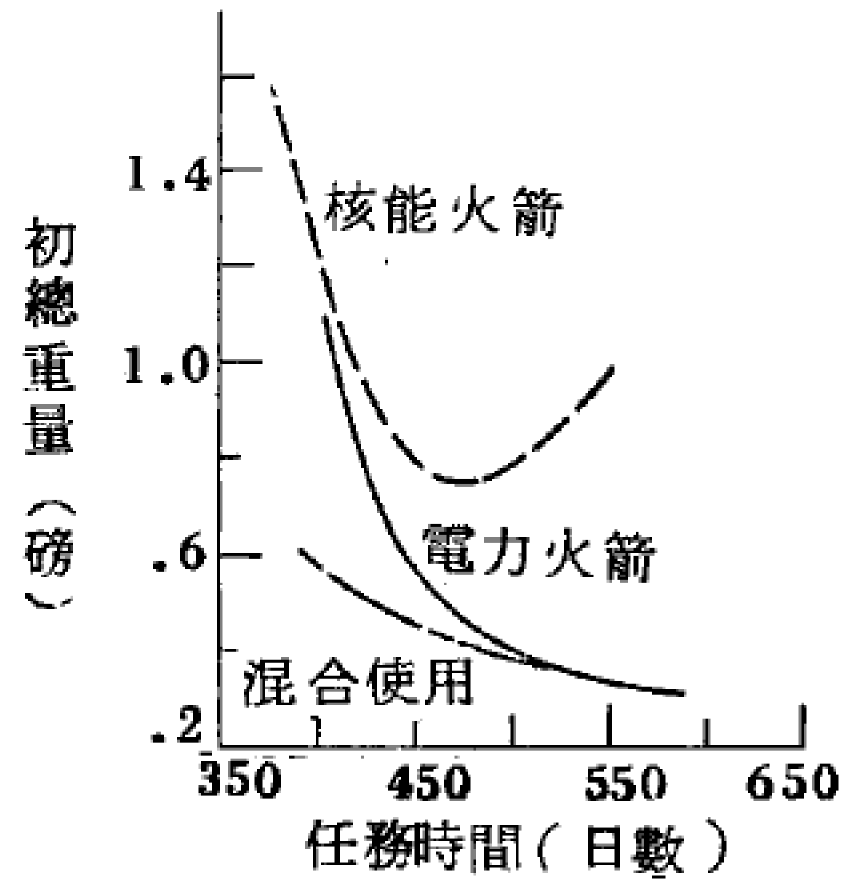


圖 13 — 152
核能火箭及電力推進火箭之比較

【電力喇叭】（Power horn）

現在的汽車上，均裝置用電力的號筒，以備警告行路的人。圖 13 — 153 示其內部的構成狀況。有一個金屬圓片名隔膜，裝置在圓環內。隔膜因電動機的傳力，振動得很快，使隔膜周圍的空氣發生波浪，播達到人耳內。隔膜的外面，裝著一個喇叭形的號筒，這樣，才可以把受隔膜振

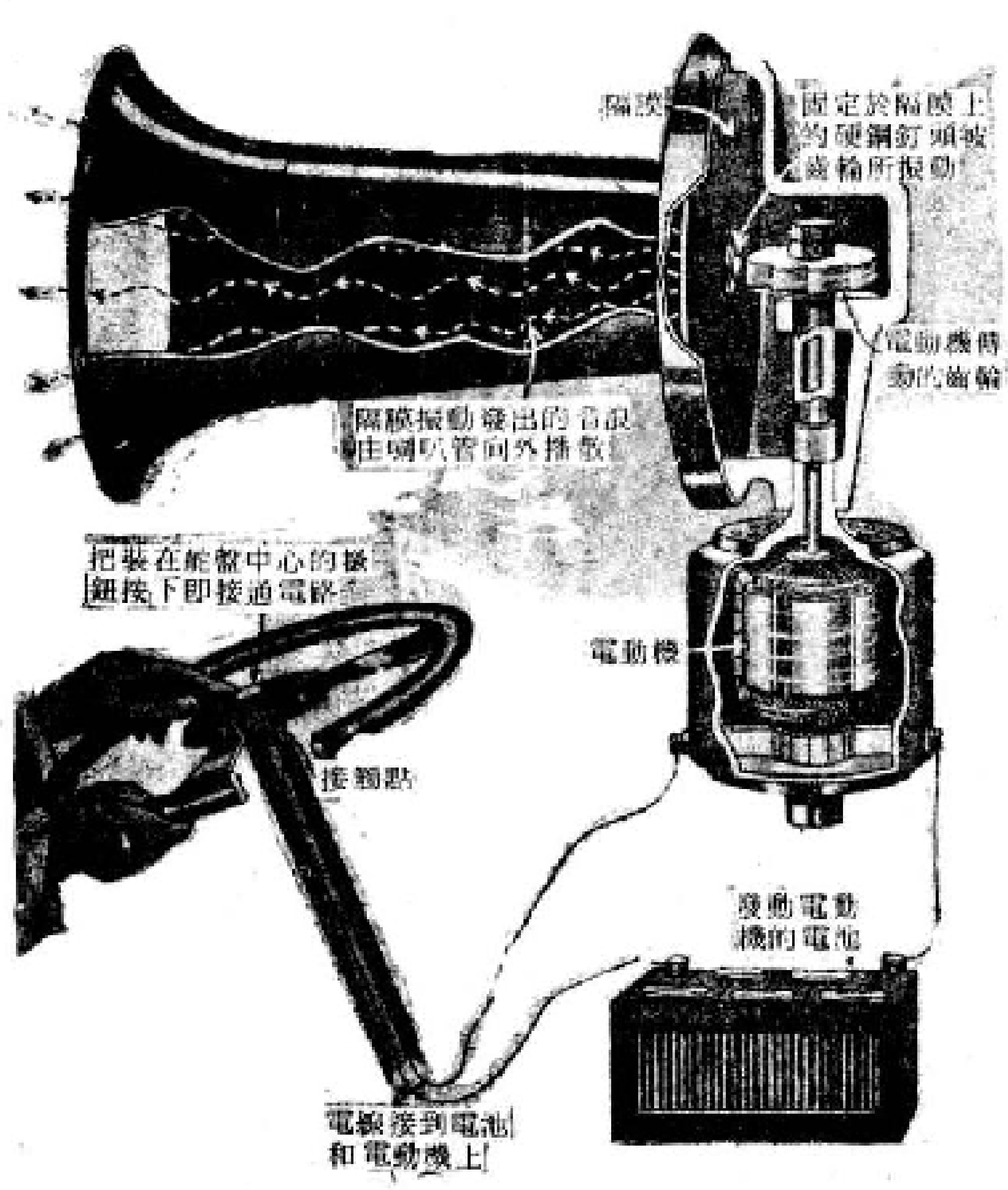


圖 13 — 153

動的空氣，拘束在一起而發出很大的聲音。電動機的電樞軸（*armature shaft*）上裝有鋼質齒輪，輕微地切著固定於隔膜中心的硬鋼短柱上。當齒輪被電動機轉動時，由硬鋼柱很快的傳遞振動於隔膜。這樣，號筒內產生音的衝擊，向外播散。全部的電路，是從蓄電池經過電鈕而達電動機。電鈕裝在舵盤的中央，揿按電鈕，則通電路，電動機於是發動而使號筒發聲。現在新式汽車上，大都用這種電力號筒來代替舊式的擠皮球喇叭。新、舊兩種的發音原理是相同的，所不同的是前者用電動機的力量可以繼續發出聲音。

【電力傳輸】（Power transmission）

圖 13—154 說明一在實用上極爲重要之問題，於此電路中，Z_S 代表一已知被動阻抗，V_S 係代表在角頻率 ω 之正弦波電壓電源之相量，於是

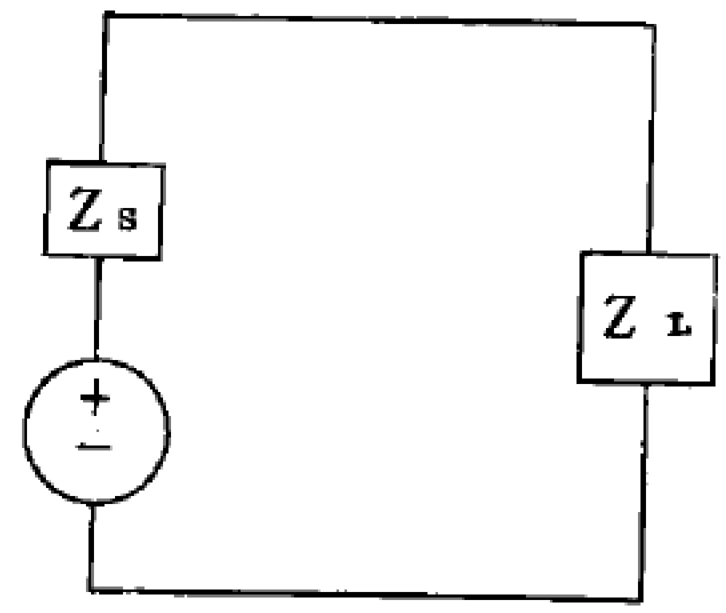


圖 13—154
說明由電源至負荷
之電力傳輸之電路

$$v_S(t) = R_E(V_S e^{j\omega t})$$

阻抗 Z_L 代表被動性負荷阻抗，其值必須加以適當選取，以使進入負荷阻抗 Z_L（於正弦穩態下）之平均電力（功率）爲極大，電壓電源 v_S 代表進入之電磁波，阻抗 Z_S 爲引入第一級之阻抗，由此可導得最大電力傳輸定理：最佳之負荷阻抗 Z_{L0} 爲 Z_S 之共軛複數，即 $Z_{L0} = \overline{Z_S}$。

顯然由電源輸送之平均功率（電力）爲

$$P_S = \frac{1}{2} |I|^2 R_E(Z_S + Z_L)$$

於阻抗共軛匹配條件下

$$I = \frac{V_S}{Z_{L0} + Z_S} = \frac{V_S}{2R_S}$$

故
$$P_S = \frac{1}{2} \frac{|V_S|^2}{4R_S^2} 2R_S = \frac{|V_S|^2}{4R_S}$$

【電力與磁力】(Electric force and magnetic force)

物體除了具有質量外，還可以帶有電荷（ *charge* ），這是物質的另一種特性。電荷一語是表示質點間另一種交互作用（即電磁交互作用）產生的原因。

帶有電荷質點間的交互作用亦爲一種基本交互作用。靜止的電荷間的交互作用是由庫倫（ *Coulomb* ）發現的，故稱爲庫倫定律。庫倫定律中說明：兩靜止的帶電質點間的作用力之方向是沿著兩質點的連線，而其大小與兩質點所帶的電量的乘積成正比而與兩質點間的距離的平方成反比；並且異性的電荷（電荷可分爲正電荷與負電荷）相吸引，同性的電荷相排斥。設 q_1 及 q_2 爲兩質點所帶的電量，而其位置向量爲 $\vec{r}_1$ 及 $\vec{r}_2$，則庫倫定律可用下式表示

$$\vec{F}_{12} = k\,\frac{q_1 q_2\ (\vec{r}_1 - \vec{r}_2)}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^3} = k\,\frac{q_1 q_2 \hat{r}_{12}}{r_{12}^2}$$

k 爲比例常數，其值與所採用的單位制有關。此定律之形式與重力定律相似，力的大小都是與距離的平方成反比，因此我們常稱它們爲反平方力（ *inverse-square force* ）。

兩個靜止的帶電質點間除了有靜電力外，也必同時有重力存在。但是，重力常比靜電力小很多。例如，兩個電子間的重力與靜電力的比值爲 4.17×10^{42}，因此，在討論有關帶電質點的交互作用的問題裏，我們經常將微弱的重力忽略不計。

電荷間除了有電力外，一運動中的電荷也會施另一種力於另一運動的電荷。這種與電荷的運動有關的作用力我們稱它爲磁力（ *magnetic force* ）。磁力的作用方向與電荷的運動方向垂直。一靜止的電荷會在其四周的空間創造一電場，而當此電荷運動時（即相當於有電流時）它又會產生另一種力場，即磁場。因此，當另一電荷也在運動時，爲方便起見將二電荷間的磁交互作用想像成前一運動電荷所生的磁場施一力於

後一電荷。所以，我們也可以說磁力爲電荷在力場內運動時所受的力。若一質點所帶的電量爲 q ，速度爲 $\vec{v}$ ，磁場的強度爲 $\vec{B}$ ，則質點在此磁場內所受的磁力爲

$$\vec{F} = k'q\vec{v} \times \vec{B}$$

k' 爲一比例常數，與所選用的單位制有關。

【電力線】(Electric line of force)

在電場的觀念中，空間每點都有電場向量 $\vec{E}$ ，在該處置一電荷 q 則受 $q\vec{E}$ 之力。若電荷 q 甚小，不致使電場有所改變時，則其在電場中移動的路線稱爲電力線。適當繪製電力線圖形甚有助於對電場形式的瞭解，且可得到數量上的近似結果。其方法是畫出若干條電力線，使通過單位面積的線數與該處的電場強度成正比。如此，電場愈強處則電力線愈密集，可由觀看電力線圖形而瞭解電場分佈情形。

依電荷在電場中移動路徑的連續性和單一性，可知電力線必爲連續者，且各線永不相交。

圖 13—155 中列擧四種電荷分佈的電力線圖，(*a*)爲點電荷，(*b*)爲電偶極，(*c*)爲平行電板的邊緣及(*d*)爲尖銳導體。注意在(*a*)中，穿過各球面（1、2和3）的電力線密度與半徑平方成反比，這與電場同，可知電力線密度可顯示著電場的強度。

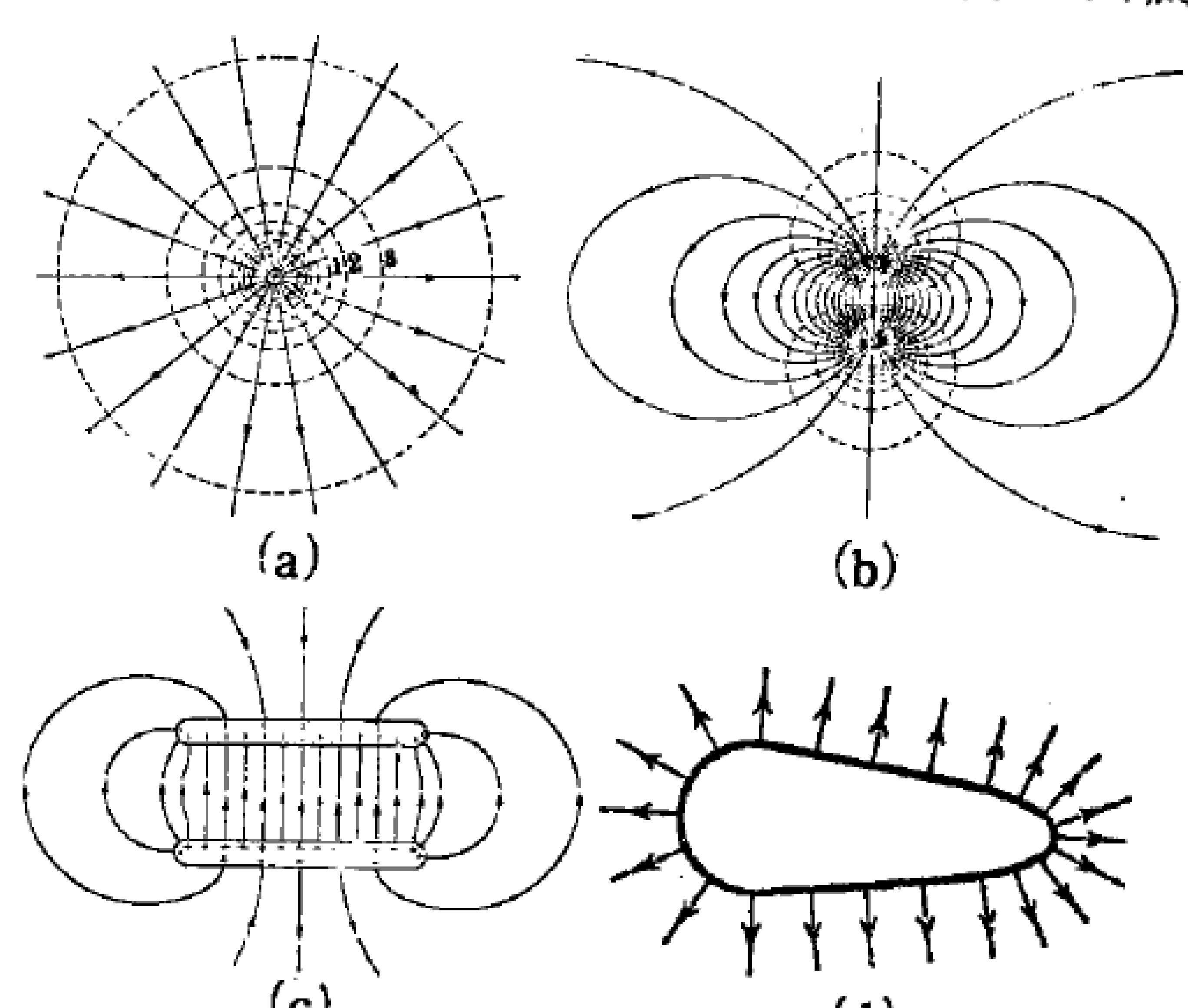


圖 13—155

一般而言電力線有下列特性：

1. 電力線出自正電荷，而終於負電荷（其線

上各點切線的方向與電場強度均同）。

2.電力線有縮短的趨勢，異性電荷因而相吸。

3.電力線具有旁壓力能向四周側面無限擴張即同性電相斥。

4.電力線不相交割。

5.其起點與終點均與帶電體表面垂直。

6.同一電力線之兩端不可能交於同一導體上，電力線非封閉曲線。

7.電場強度較大者，電力線亦較密，在電場內，與場向垂直的面積上，每平方厘米有一條電力線穿過，代表1 C.G.S.單位電場強度（達因/靜電單位）。

電力線數＝（垂直面積）×（電場強度）

8.電力線能通過眞空及任何物質，故電力能透過任何物體以發生感應作用。

9.導體對電力線毫無阻力。故等量異電在同一導體上，可由電力線收縮而消失，導體的靜電感應即依此而兩端各荷異電。

10.非導體能抗電力線之收縮，故電在非導體上不能自由移動。

【電力增益】（Power gain）

電力管之輸出電力與輸入電力的比值。

【電力靈敏度】（Power sensitivity）

信號輸出電力與輸入信號電壓有效值平方之比值，以“姆”表之。

【電八極】（Electric octupole）

由電雙極所推廣更高次之電荷分佈。

【電子】（Electron）

是一種最小的帶電粒子。在原子中，圍繞於原子核外，其數目與核內的質子數相等，又等於原子序。

導線中電流的產生即是電子流動的結果。一安培電流相當於每秒通

過 6.24×10^{18} 個電子。電子管、陰極射線管、電視映像管等都是電子流的作用。

電子可帶正電也可帶負電，正電子被稱爲正子；但很少稱電子爲負子，通常所謂的電子即指負電子。

電子有內稟磁矩爲

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{e^2}{hc} \right)$$

式中 μ_0 爲波爾磁元（*Bohr magneton*），h 爲浦朗克常數（*Planck constant*），c 爲光速，e 爲電子的電量。

電子的自旋量子數爲 $\frac{1}{2}$。自原子核中放出的電子謂之 β 粒子或 β 射線。電子的大小及電子質量與電荷的配置，必須限制在簡化與實用的範圍內而得到完整的解釋。根據配置理論，電子的配置半徑爲：

$$\begin{aligned} r_e &= 1.4 \times 10^{-13}\, m \text{（米）} \\ &= 1.4 \times 10^{-15}\, cm \text{（厘米）} \\ &= 5.5 \times 10^{-14}\, in \text{（吋）} \end{aligned}$$

美科學家密立坎（*Millikan*）根據油滴實驗測出，電子的荷電量

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{庫倫} = 4.802 \times 10^{-10} \text{靜電單位（} e.s.u. \text{）}$$

這一關係是由氫原子之原子量爲 1.008 爲基礎， 氫原子僅包含一個質子與一個電子，因質子爲電子質量的 1,840 倍。

故氫原子之質量爲

$$\frac{1.008}{6.024 \times 10^{23}} = 1.67 \times 10^{-24} \text{ 克}$$

所以電子的質量 m_e 爲

$$m_e = \frac{1}{1,840} \times 1.67 \times 10^{-24} \text{ 克} = 9.11 \times 10^{-28} \text{ 克}$$

6.024×10^{23} 爲亞弗加厥常數（*Avogadro's constant*），即一

物質量之克數時，則該物質之分子數稱爲亞弗加厥常數N，單位爲克摩爾。

一克摩爾之質量在氣體狀態時，在標準狀況（一大氣壓力，0°C時）其體積爲

$$22.4\text{升} = 22,400\text{厘米}^3$$

此氣體之質量即爲克分子量，以分子量除以亞弗加厥數N（即個別的分子之質量）。因氫原子量爲1.008，故質子的質量爲1.67×10^{-24}克。

已知一安培的電流爲一秒鐘內流過一庫倫之電量，故一庫倫中含有電子數爲

$$\frac{1\text{庫倫}}{1.602\times10^{-19}\text{庫倫}} = 6\times10^{18}$$

一電子均擁有一定的質量，其所荷之電量不易直接量得，但科學家湯木生（*J.J. Thomson*）用電場及磁場折射陰極線，由其轉彎程度即測量其所受之加速度及運動法，測得電子的質量與電量的比爲1.759×10^{8}庫倫/克。於是電子的質量由電子的荷質比關係表示，則

$$m = \frac{e}{\text{電子的荷質比}} = \frac{1.602\times10^{-19}\text{庫倫}}{1.759\times10^{8}\text{庫倫/克}}$$

$$= 9.11\times10^{-28}\text{克} \qquad (m\text{爲電子質量})$$

電子與質子的特性

微粒	質量符號	公斤（kg）	電荷的符號	庫倫	半徑(厘米)
電子	m_e	9.1×10^{31}	$-e$	-1.602×10^{-19}	1.4×10^{-15}
質子	$1{,}840m_e$	1.67×10^{-27}	$+e$	1.602×10^{-19}	1.4×10^{-15}

【電子、正子對的毀滅】（Electron-positron annihilation）

光線發出，就有光子；光線被吸收，光子就消失。利用單一的原子來創造光子，光子的能量由原子所供給；光子射出來後，原子的內能就減少；前後內能的差就等於光子的能量

$$E_{光子}=h\nu=E_{最初}-E_{最後}$$

原子的能階源於電子受到原子核的庫倫力，所引起的量子化現象。由於電子束縛能的變化，導致光子的產生，光子產生以後，電子和原子核看起來並沒有變化。

西元1932 年，安得生（*Anderson*）在測量外太空來的宇宙射線中的電子能量的時候，第一個發現到正子。他利用放在磁場中的雲霧室，電子通過的時候，繞圓形軌道而運動，根據圓形軌道的半徑，以計算出電子的動量。很偶然地，他發現了反方向彎曲的軌跡，就好像是帶正電荷粒子的軌跡一樣。除了曲線的方向以外，這奇怪的軌跡就跟電子的軌跡一模一樣。這表示說，此軌跡是屬於一種和電子具有相同的質量，帶有單位正電荷的粒子。在安德生發現不久以後，正子又在某些放射性的放射粒子中被觀測到。

放在離正子源和金元素板不遠處的蓋革計數器顯示出，有能量極高的粒子從金元素板中射出來。精確地量度，知道這些粒子就是光子，能量非常趨近於 0.5百萬電子伏特。這能量就等於一個電子或是一個正子的靜止能量。靜止的正子沒有動量；能量爲0.5百萬電子伏特的光子，沿著運動方向，具有0.5 百萬電子伏特/c 的動量。因此，在這樣的過程中，動量不是不變的了。進一步看，正子帶有單位正電荷的電量，光子則不帶電；電荷，到目前爲止，都是不變的，在這裏卻不是不變的了。考慮0.5百萬電子伏特的光子形成之時候，如果我們假設：一個正子和一個電子同時消失了，放出了二個光子，這個問題就變得簡單多了。二個光子從相反的方向射出，總動量就等於零，恰好是正子和電子對的動量，總電荷也恰好等於零，滿足了電荷不變原理。

在 1932 年，當正子第一次被看到的時候。理論上，有理由去相信正子的末路是碰到一個電子，同時消失後形成二個光子。我們可由實驗證實，在正子發射源和使正子停下來的金屬板附近，放置二個偵測器（如圖 13 — 156 ）。二個偵測器同時連到符合計數器；只有當二個偵測器同時接受到光子的時候，符合計數器才予以計數。計數的速度和放射源跟二個偵測器之間的夾角無關，只要夾角不太趨近於 180° 即可。趨近 180° 的時候，計數的速度增加得很快，顯示出二個光子發出的方向是相反的。

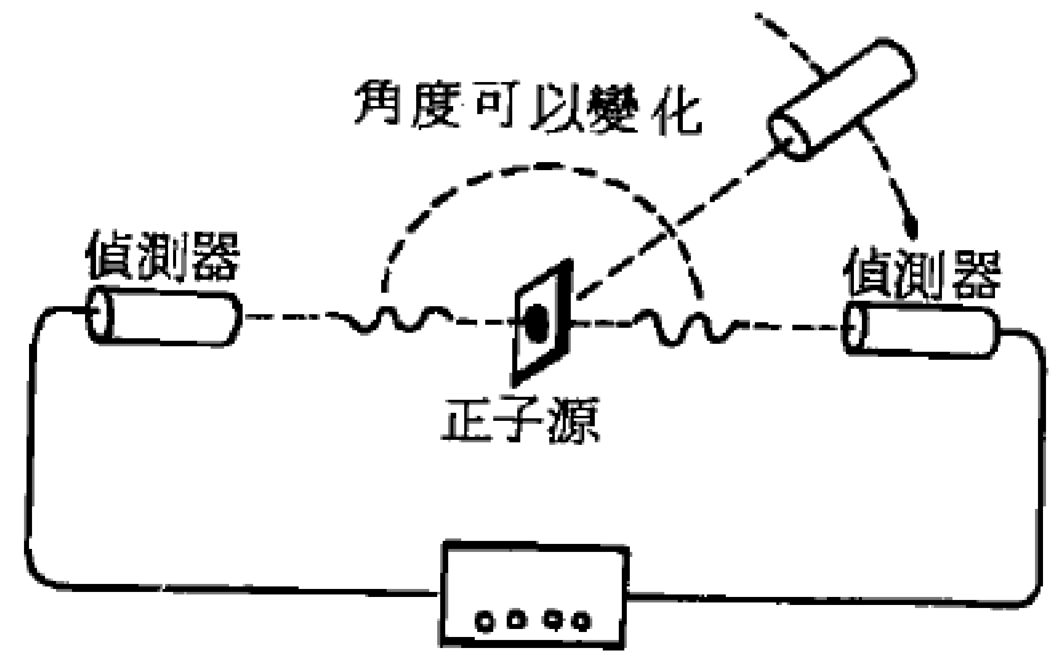


圖 13 — 156
用來證明二個光子同時產生的儀器裝置

根據這個實驗（還有其他的一些實驗），我們確信一個電子和一個正子碰到以後會消失掉並產生二個光子。高能量的光常被稱爲 γ 射線，因此可寫成

$$e^{+} + e^{-} \rightarrow 2\gamma$$

過程中，電荷和動量都是不滅的。但是，質量和動能是不是不滅的呢？電子和正子對共有質量 $2m$，沒有動能。而二個光子共有能量 1 百萬電子伏特 $= 2mc^2$，沒有質量。質量和能量分開來，並不是不變的。但是依照總能量等於靜止能量和動能的和，則是不變的；電子和正子對的靜止能量爲 $2mc^2$，恰好等於光子的總能量，全部都是動能。

【電子、聲子交互作用】（ Electron-phonon interaction ）

當晶格振動時，其振動波所攜之能量是量子化者，這種量子化的彈性波我們稱之爲聲子。聲子使晶體內的原子離開其平衡位置，晶體內對於電子的位能也隨之改變，於是電子就可能被散射，這就是所謂電子、聲子交互作用。

由計算結果可知，若電子原波向量爲$\vec{k}$，聲子爲$\vec{q}$，則被散射後電子的波向量爲

$$\vec{k'} = \vec{k} + \vec{q}$$

或

$$\vec{k'} = \vec{k} + \vec{q} + \vec{G}$$

式中$\vec{G}$是反商晶格向量，前者稱爲正常過程，後者稱爲拍轉過程（*umklapp-process*）。

電子與聲子交互作用對晶體的主要影響有：

1. 電子被聲子散射是形成電阻的主要原因之一，如此所形成的電阻率在高溫時與溫度T成正比，低溫時與T^5成正比。

2. 由於會吸收（或形成）聲子，傳導電子與聲子的作用是超聲波在金屬內被減弱的重要原因。

3. 造成二電子的相互吸引力；此作用對超導體非常重要，它是由於放出和吸收一聲子所造成。

4. 電子在離子晶體內由於電磁力，造成局部的晶格形變（*deformation*），伴隨著電子在晶體內運動，如此由電子和聲子場的合成稱爲偏振子（*polaron*），它的有效質量大於電子。

【電子人造喉門】（Electronic artificial larynx）

以電晶體製成電子喉門，可以使啞巴發聲。但啞巴要先經切除手術，改用食道發音。談話時，啞巴拿著喉門，壓著喉部，即可以藉助喉門發音。

【電子之半徑】（Electron radius）

一個電子爲一帶負電荷$-e$的粒子。其所帶的電荷集中區域的大小，可假設爲電子一半徑爲R的球體，就可以計算它的電能。舉例來說，假設電子好像一半徑爲R的固體的球體，負載一電荷$-e$而且所帶的電荷僅分佈在它的表面上。則計算電子的電能應爲

$$E = \frac{1}{2}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R}\right)$$

令此能量等於電子的靜止質能$m_e c^2$，得

$$m_e c^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R}\right) \text{或} \quad R = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)\frac{e^2}{m_e c^2}$$

然而，假如對電子內的電荷分佈採用一不同的模型時，就得到一不同於$\frac{1}{2}$的數字係數，由於這一原因，習慣上係採用下式之量作為電子半徑的定義

$$r_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{m_e c^2} = 2.8178\times 10^{-15} \text{米}$$

這一半徑不能視為是嚴謹的幾何意義上的半徑，而主要是可以作為估計電子集中區域的大小之用。

【電子之能量】(Electron energy)

電子繞原子核軌道中運動，擁有三種能量：

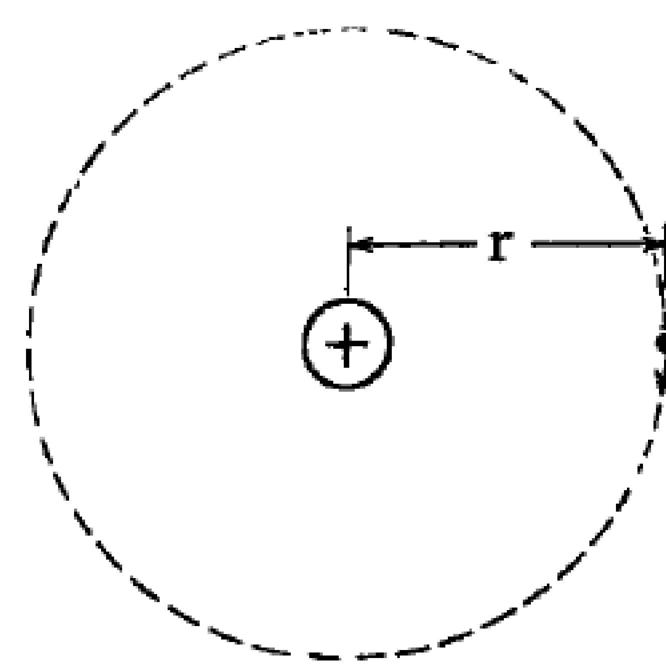


圖 13 — 157
電子的電位能

1. 電能——電子在原子的電位能，可由電子欲離開原子核所付予的功能決定，如圖13—157。

2. 動能——電子以速度v繞原子核所生離心力(*centrifugal force*)，此動能等於$\frac{1}{2}mv^2$，m為電子質量，v為電子速度。

3. 自旋能量——電子自旋得另一轉動能量，即電子自旋(*spin*)的角動量。

【電子之康卜頓波長】(Electron Compton wavelength)

設λ為入射輻射之波長，而λ'為散射輻射之波長，康卜頓發現λ'只決定於散射之方向。此即，若入射波與散射波方向間之夾角可測得(圖13—158)，則散射輻射之波長λ'只決定於角度θ，實驗之關係式為

$$\lambda' - \lambda = \lambda_C (1 - \cos\theta)$$

式中λ_c為一常數，若λ及λ'以米測之，λ_c之值為

$\lambda_c = 2.4262 \times 10^{-12}$ 米

此稱電子之康卜頓波長。

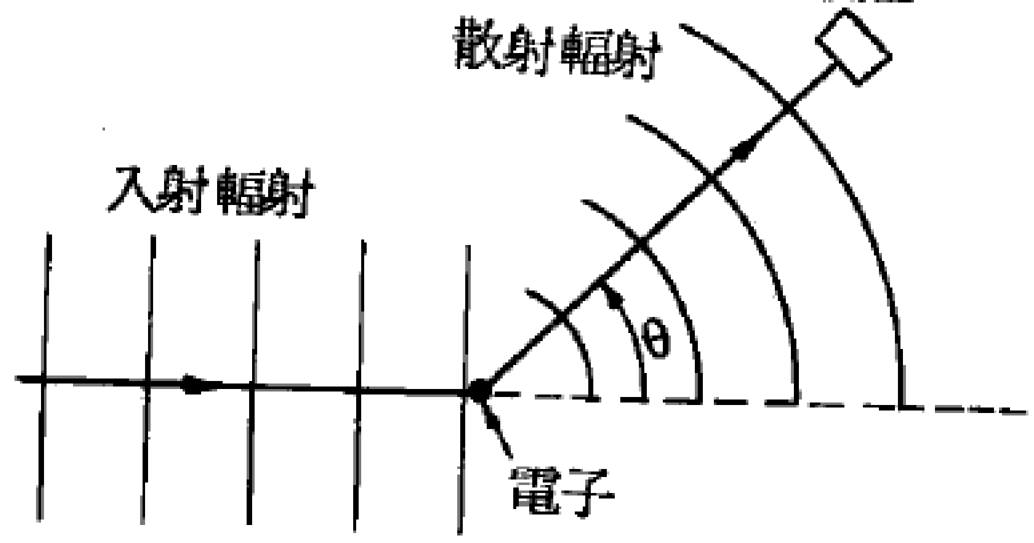


圖 13—158
康卜頓散射中之幾何圖形

【電子之荷質比值】(The electron ratio of charge to mass)

1897 年湯木生量得正確的陰極射線質點電荷與其質量的比值e/m。利用這比值，可以鑑定陰極射線。圖 13—159 是湯木生的儀器裝置。(負)電荷e，質量m的陰極射線質點自陰極C行向陽極A，A上穿一小孔，即為圖中的闌圈D，而與闌圈D'同使質點限制成一小注。然後質點通過長l及相隔為d的兩平行金屬板。最後打到管端，而在S_1處產生亮斑。跨過兩板加一電壓V，則產生一力$F = eV/d$作用於質點上，此作用力的方向且與質點速度v的方向垂直，並使質點產生橫向加速度$a = (e/m)(V/d)$。質點在兩板間通過的時間為$t = l/v$，此時間之後即不再加速。脫出兩板時，其橫向偏移是$\delta = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(e/m)(V/d)(l/v)^2$，此值乘一增大的因數，即為亮斑的偏移$\overline{S_1S_2}$。偏移甚小時，增大的因數差不多剛好為$2L/l$，其中$L$是兩板中心到管端距離。因得

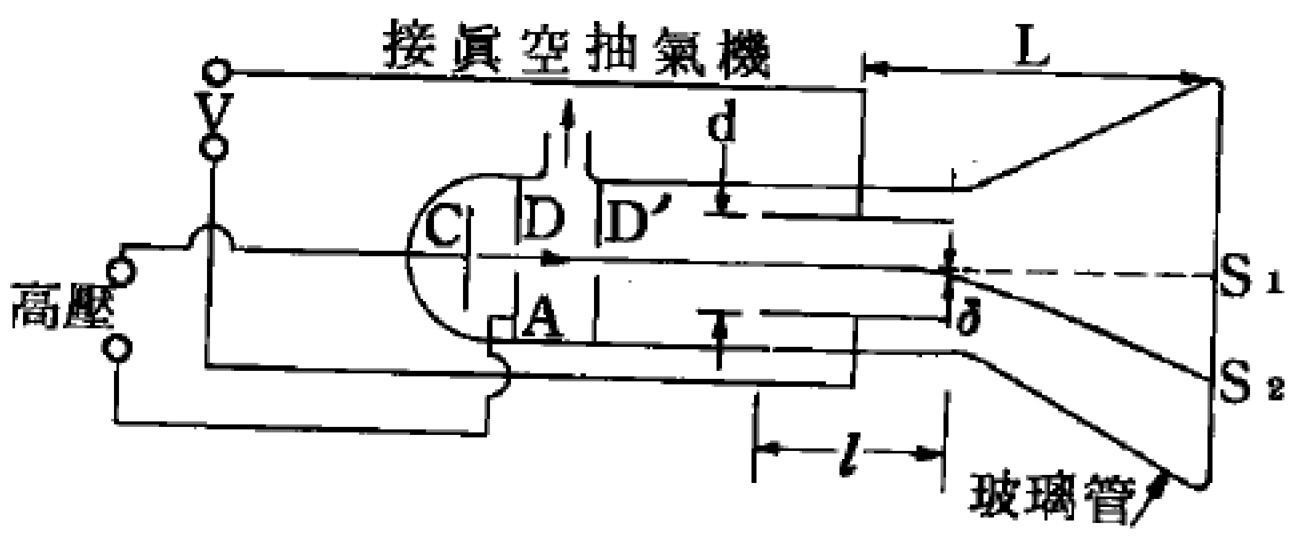


圖 13—159
量度電子e /m比的儀器

$$\overline{S_1S_2} = \frac{e}{m}\frac{V}{d}\frac{L}{l}\left(\frac{l}{v}\right)^2$$

若量得偏移$\overline{S_1S_2}$之值且已知質點之速度v，則由上式可算出e/m。

為著決定v值，湯木生另外用一個方法來量度，他於夾在兩板中間

的部分垂直於圖 13—159 圖面的方向加一磁場H，則運動電荷質點與磁場作用便產生磁力，同時跨過兩板的電壓V則產生靜電力。使磁場方位正確，便可得磁力與靜電力剛好有相反的方向；事實上，予磁場強度以某適當值，兩力可剛好抵銷。對此值之H得如下關係：

$$eV/d = Hev/c$$

此時亮斑不生偏移。此式左邊爲靜電力，右邊爲磁力。從上兩式，便可用實驗的量度量來表示e/m 而得計算其值。公認值爲

$$e/m = 5.27 \times 10^{17} esu/gm$$

$$= (1.75888 \pm 0.00004) \times 10^{11}\ coul/kgm$$

觀察到的實驗結果，與組成陰極的物質以及管內剩餘氣體的性質都無關係。這證明上面寫出的e/m 值實爲陰極射線質點之本質，而一切陰極射線質點皆有相同之e/m值。

陰極射線之荷質比，其值較之游離原子之荷質比要大得多。後者之數值，是從含有游離原子之溶液中做電解實驗而量得。電解池通電若干時間之後，量出游離原子流過之總電荷，以及積聚於電極上之原子總質量。游離氫原子之e/m 值在所有原子中是最大的，但陰極射線質點之e/m 值又比游離氫原子的e/m 值大1,836 倍。 由此看來，若非陰極射線質點的電荷比游離原子的電荷大得多，便是陰極射線質點的質量比原子的質量小得多。

【電子之殼層結構】(Shell structure of electron)

在原子核外的電子依其能量及軌道大小而有殼層狀結構，稱爲電子之殼層結構。各層通常以其主量子數K、L、M…分別表示：$1s$ 軌道爲K層，$2s$ $2p$爲L層，$3s\,3p\,3d$爲M層，…依此類推。主量子數相同但總角量子數不同的軌道因屏蔽效應不同，而其能量亦稍有不同，故每層電子又可依s、p、d、f 等分爲副層。原子中最外層電子數常較其軌道數爲少，稱爲價電子層（*valence shell*），價層以內的所有軌道

均填滿電子，稱爲滿充殼層（*closed shell*）。

【電子之發現】（Electron discovery）

十九世紀末葉，電學興起，這提供了破壞原子的方法。在低壓氣體下放電，原子可被分解成帶電的兩部分。1897年，英國的湯木生（*J.J. Thomson*）於研究該兩部分時，發現其一帶負電（稱爲電子），而另一個較重的部分則帶正電。這一事實說明了原子不再是不可分割的。

1895 年，德國的倫琴（*Röentgen*）發現X光，接著貝克勒（*Becquerel*）及居里（*Curie*）夫婦相繼發現放射性元素。放射性元素就是可放射出“某些東西”的原子。這些東西後來被稱爲α、β粒子，飛行甚速，因此有穿透物質的能力。這穿透的能力很快地使得α、β粒子成爲探討原子內部構造的最佳工具（見圖 13 — 160），但實驗的結果，有時粒子毫無所阻地通過，有時則又發生猛烈的碰撞。用湯木生的原子西瓜模型不能解釋。1911年，拉塞福（*Rutherford*）爲了解釋這些實驗結果，提出一個新的原子模型。他證明出：原子中帶正電的部分必須集中於一個非常小而重的原子核（*nucleus*）裏，而電子則如行星繞日般地圍著原子核運轉，原子核與電子間是有很大的空隙的。用他這一模型算出來的數值正是實驗的結果，因此這一模型是無可懷疑的，如圖 13 — 161。

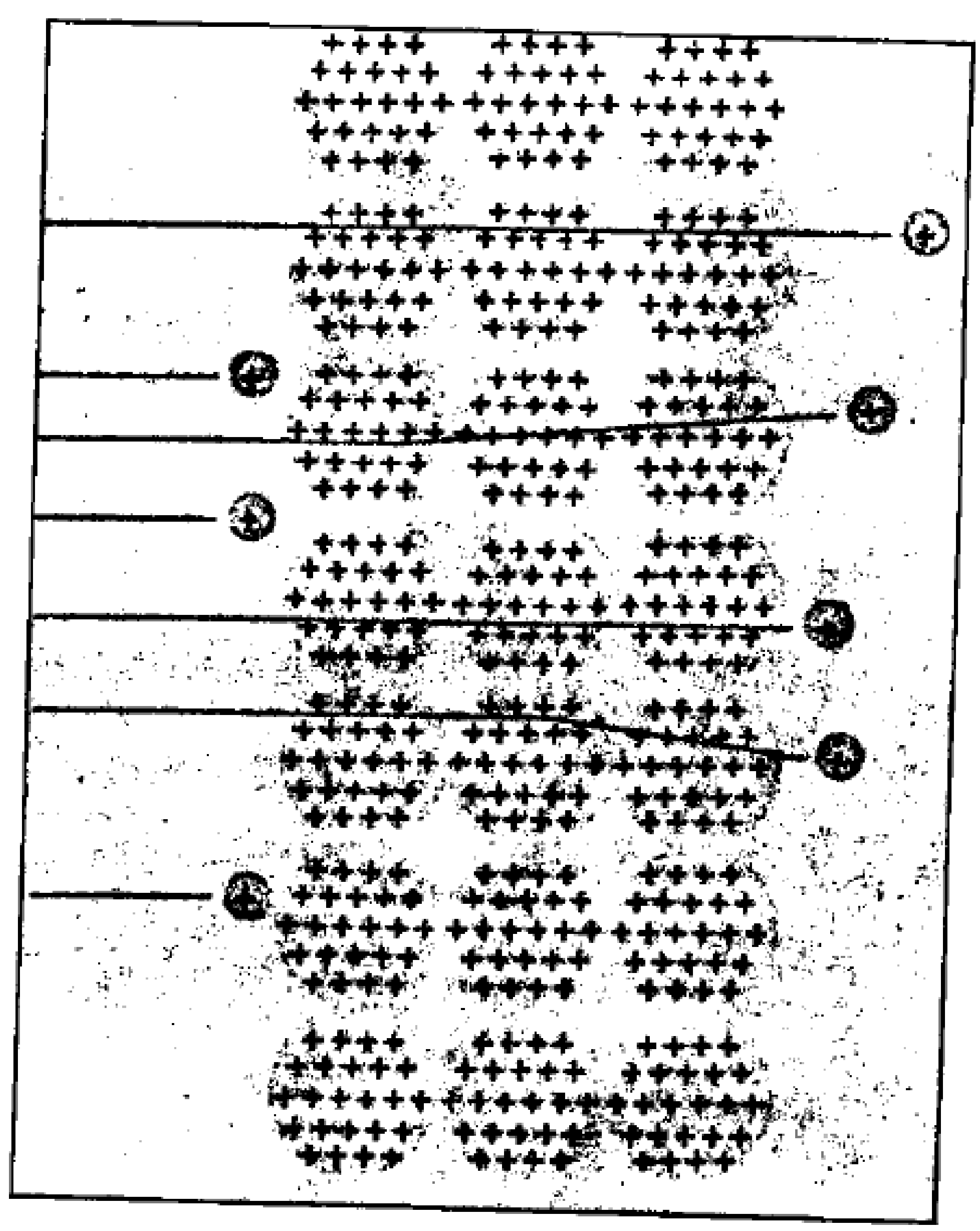


圖 13 — 160
α粒子被湯木生原子（即所有的正電均勻地散佈在整個原子裏）折射的情形。

【電子分佈】（Electron

distribution)

詳閱“電子軌道（*Electron orbit* ）”條。

【電子反常磁矩】（Electron anomalous magnetic moment）

根據未量子化的狄悅克電子理論（*Dirac electron theory* ）所算出的電子磁矩爲 $e\hbar/2mc$，但實驗值卻是（1.0011609 ± 0.0000024）× $e\hbar/2mc$，超過的部分（0.0011609 × $e\hbar/2mc$）稱電子反常磁矩。理論上由量子電動力學可算得電子反常磁矩爲0.0011596 $e\hbar/2mc$，此值在實驗誤差以內，非常準確。

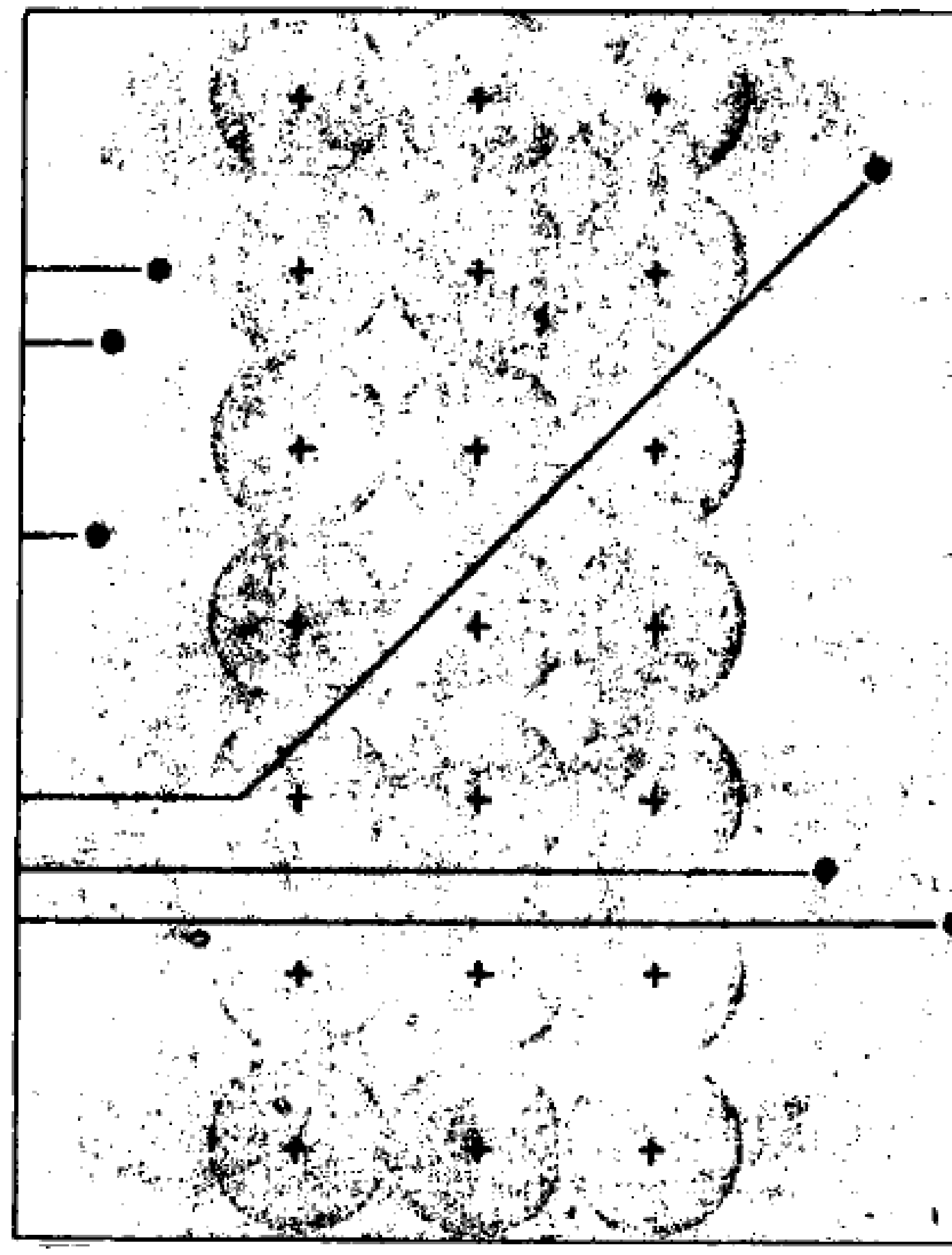


圖13－161

α粒子被拉塞福原子（即所有的正電集中在一個很小的原子核中）折射的情形。α粒子與原子核碰撞的結果，我們可看到被折射得很厲害的α粒子。實驗的結果與此種模型相合。

【電子內稟磁矩】（Intrinsic moment of electron）

電子的軌道運動及其本身的自旋，產生磁雙極矩（*magnetic dipole moment* ）。

鐵磁物質（*ferromagnetic material* ）由均勻的磁化區域組成，這些磁化區域，稱之爲磁域（*magnetic domain* ）。當有外加磁場時，會在磁域內誘導產生一磁矩，磁矩的大小與外磁場成正比；比例的大小則與溫度有關，當溫度低於居里溫度（*Curie temperature* ）時，即使外磁場不存在，磁矩仍然存在。這種磁矩稱爲內稟磁矩，這種現象稱爲內稟磁化（*intrinsic magnetization* ）。

【電子加速器】(Electron accelerator)

參閱“電子廻旋加速器(*Electron cyclotron*)”條。

【電子同步加速器】(Electron synchrotron)

同步加速器上所用的種種技術，在電子的加速也可以適用。這種技術，對質子和電子而言十分類似。電子經過加速後，就立刻被射入一個環狀磁鐵內的眞空箱。當電子成功地通過高壓的夾縫而獲得加速作用時，磁場也同時上升。

質子與電子的加速有一不同點，就是因爲質子的質量比電子大得很多，故由於向心加速度的緣故，使得電子要較質子輻射更多的能量。這意思也就是說對具有相同能量的電子和質子，則電子的速度要比質子大得多。因此在做電子加速時，要儘可能將電子加速的路徑減少，以降低由於加速致使能量輻射的損失。

利用β加速器的加速原理，許多早期的電子同步加速器能把電子加速到 5 至 10 *MeV*。近年來，普遍使用范得格拉夫加速器或直線加速器，將高能的電子射入同步加速器。

在美國，巨大的電子同步加速器座落在科羅奈大學(*Cornell University*)、加州理工學院(*C.I.T.*)以及麻薩諸塞州的劍橋。科羅奈大學正設計建造一個 10 *BeV* 的電子同步加速器。

【電子同步廻旋加速器】(Electronic synchro-cyclotron)

電子同步廻旋加速器能產生短波偏振輻射，其輻射範圍包括了可見光、紫外線至*X*光。

電子同步廻旋加速器是一個圓形的機械，用來使電子加速到極高的速度，作爲高能物理方面基本粒子實驗的“子彈”。在這類加速器中，最大的一個是美國麻州波士頓附近劍橋(*Cambridge*)地方的六十億電子伏特劍橋電子加速器(*Cambridge electron accelerator*)，它可以使電子加速到高達 0.99999999 *c* (*c* 爲光速)；電子在一個直徑

240呎的平面軌道上運轉，這軌道由四十八個巨形磁鐵構成，由圖 13 — 162 可以看到其中一個巨形磁鐵的簡圖。當電子的速度增高（受到強大磁場加速），它們的動量及質量也隨著增大，這時垂直方向的磁場強度也要同時增加，以迫使電子停留在軌道內，同時利用磁力聚焦的方法（*magnetic focusing*）來壓縮軌道中之電子束，使其截面（*cross section*）如鉛筆的筆心一般大小。

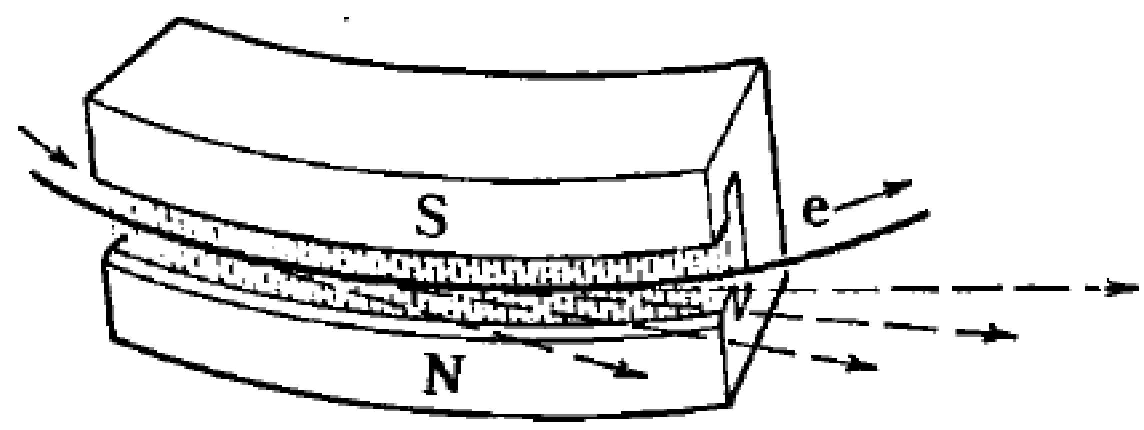


圖 13 — 162
電子軌道形成圓之一部分。而偏振廻旋加速器的輻射如虛線箭頭所示，向切線方向射出。

軌道中每一個電子都不斷地受到向心加速度，由於電子被加速，因而放出輻射，當電子速度略小於光速，即爲中等速度時所產生的輻射，特稱爲同步廻旋輻射（*synchrotron radiation*）。這種輻射發出於各個方向，大略垂直於加速的方向（即半徑方向），輻射波型式很像個南瓜。從圖 13—163 (*a*)可以看出，在南瓜的端點並無輻射存在，這是因爲它正好處在半徑方向，但是當電子速度接近光速時，這時由於相對論性效應（*relativistic effect*），整個波形開始有巨大的改變（拉長或彎曲）如圖 13 — 163(*b*)，同時兩個尖端也開始同一方向移動。事實上這形狀以及扭曲的型式是隨著輻射波長的不同而稍有改變的。最後，當電子速度達到 0.99999999 *c* 時，其形狀扭曲得幾乎難以辨認。原來的南瓜形狀已經扭曲成一個細長的角錐，如圖 13 — 163(*c*)。照眞正的比例來講，這角錐將非常近似一條直線。它的眞正半角度（*half-angle*）小於 0.1°。指示沒有能量傳遞方向的尖端仍然存在（對任何

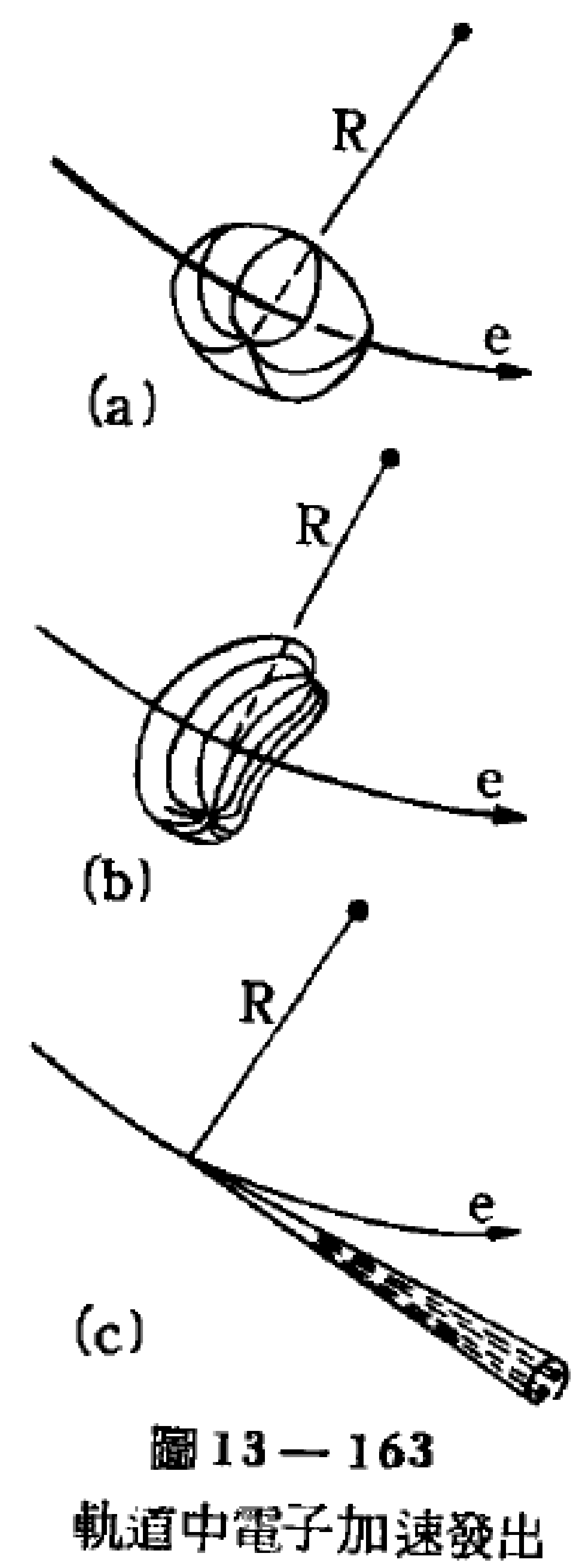


圖 13 — 163
軌道中電子加速發出的同步廻旋輻射型式

波長而言，尖端總是表示無能量傳遞的方向），但已被壓縮在角錐的一個小區域內，它們類似兩個鼻孔，即圖 13 — 163 (*c*) 中的兩個黑點，同時由於太小，以致很難被偵測出來。總而言之，從一個軌道任一部分發出的輻射，實際上是沿著一個簡單的直線，而且被高度地平準化，較一般利用大拋物面鏡所反射的探照燈光還要平行，而在這裏卻無任何反射物體存在。

令人驚異的是，在加速器或相對論性電子（*relativistic electron*）被人們想到之前，電磁學說早已發展出來了，奇妙的是這學說在近代加速器仍能適用，以電磁學說的基本定律爲起點，成功地導出相當精確的公式來預言軌道電子以近似光速運行時，所放射的輻射的角分佈（*angular distribution*）、譜能量分佈（*spectral energy distribution*）以及強度。物理學家們曾利用三億電子伏特的康乃爾同步迴旋加速器（*Cornell synchro-cyclotron*）得出的實驗數值發現與理論值很接近；他們發現其間的誤差是在由實驗程序所引起的誤差極限內，因此他們深信：這學說也將適用於六十億電子伏特的劍橋加速器，雖然至今仍無人去證明它。由理論的計算顯示由六十億電子伏特的高速電子所產生的輻射，波長將從 0.1 Å 到 100,000 Å。換言之，即在 X 光線到紅外線之間，整個範圍超過了二十個完全八度（*octave*）。雖然可見光的強度相當高，紫外線更高，然而 X 光線的強度以數量級而言又較前兩者爲高；整個強度曲線的波峯接近於 0.5 Å 的地方，全部純輻射（*pure radiation*）能量的輸出竟高達十仟瓦（*kilo watts*）；它的輸出量隨著電子能量的四次方而變化，因此，它受到已知直徑的同步迴旋加速器所能達到最大能量的限制。在具有高度分析能力的儀器偵檢下，顯示出其光譜是連續的，不同於一般紫外線與 X 光線射源的線光譜。理論物理家們相信：假如所有的電子具有相同能量的話，其光譜將包含數百萬

個狹窄的光帶，每一光帶代表了每一個不同電子軌道頻率的諧波（*harmonic*）；然而事實上由於電子能量的變化，光譜中的光帶便混淆成連續光譜了。

在水平面上發出的光經過小心的檢視後，發現這些光是百分之百線型偏振（這些光的電振動方向是水平的），這個發現正符合了電磁學說的推論。事實上，偏振型式是可以預想而知的：因為加速的方向是在水平面上，自然，光的電場方向也應該在同一平面上。至於實驗上的證明是由於三個事實而變得異常複雜：(1)由細長的油煎餅形不銹鋼中產生出來的輻射，裝置與檢視工作難以進行。(2)由於同步迴旋輻射的強度太高，以致很快破壞了偵測的鏡子或"窗子"的表面，同時整個油煎餅形的結構附近，充滿了γ射線、中子等類的輻射線，強度高得足以致人死命。(3)由於同步迴旋加速器的運轉是週期性的，其週期只有1／60秒，因此輻射的性質是連續變化的，甚至於千分之一秒內就改變到另一種情況。

雖然水平面發出的光被線型偏振了，而在水平高或低了0.25°的光卻呈現橢圓型偏振，當角度再稍為增大，偏振型式又趨向於圓型。

又一項令人吃驚的事為其放出輻射的電子是自由電子（*free electron*），沒有原子牽涉在內。在一個直徑小的同步迴旋加速器中，電子運轉的速度很快，在短短的千分之一秒內就穿過觀察窗（*observation window*）幾千次，以致於一個適應黑暗的觀察者很可能看見它發出來的光，甚至當電子的數目減少到只剩下一個。換句話說，只看見一個單純的電子。在義大利的一個小型同步迴旋加速器物理學家們早已發現，當軌道中僅有少數電子存在，而利用光電管放大器來量度輻射強度時，光電管的輸出（*output*）隨時間"一步一步"地減少，同時每次減少的量都相等，很明顯地，這個現象說明一次的減少相當於一個電子的損失。

從事天體物理實驗的專家們一直在尋找一個強力且均勻的紫外線和X光線的射源，現在他們將發現同步廻旋輻射可能替他們帶來了希望，更值得高興知道的是這種輻射是偏振了的。此外，它還另有一個好處：也許可以不必去量度輻射強度（這是最難的工作！），而可以直接由電磁學說的基本原理計算出來。直到目前爲止，已有幾種光源的輸出也可以由理論算出，其中包括了黑體（*black-body*）用來刻度輻射計（*radiometer*）、磁波動器（*magnetic undulator*）以及契忍可夫輻射器（*Cerenkov radiator*）。

天文學家們也很樂於硏究同步廻旋輻射，因它對於巨蟹宮星雲中的光線爲何會有如此高的偏振現象能做一解釋，因爲這星雲可能就相當於一個極巨大的同步廻旋加速器。

【電子自身能量】（**Electron self energy**）

參閱“電子之能量（*Electron energy*）”條。

【電子自旋】（**Electron spin**）

電子的自旋角動量與其軌道運動無關，電子總角動量中的自旋是量子化者，其量子數爲$\pm\frac{1}{2}$。

若電子僅具有軌道角動量，分別爲0、1、2 … 等整數，其多重譜線數必分別爲（$2L+1$），即1、3、5、7….等奇數，但原子光譜中常見多重譜線爲雙數的，若假設電子有自旋而其量子數爲$\frac{1}{2}$時，則總角動量$J=L\pm\frac{1}{2}$，則多重譜線數爲$2J+1$，即2、4、6…等偶數，此等現象即可圓滿解釋。

電子自旋的假設，是在1925年烏倫貝（*G.E. Uhlenbeck*）和古斯密（*Goudsmit*），爲了要解釋異常則曼效應（*anomalous Zeeman effect*）而提出來的，這裏我們可以用史特恩、革拉克的實驗（*Stern-Gerlach experiment*）來看，比較明顯。因爲電子爲一帶電粒子，所以電子自旋應該形成電子的內在或自旋磁偶極矩$\vec{M}_s$。假如能將

電子描述爲一轉動的帶電剛體，則在$\overrightarrow{M}_{S}$ 與自旋角動量$\overrightarrow{S}$之間的關係將與爲$\overrightarrow{M}_{L}=\frac{q}{2m}\overrightarrow{L}$所示的$\overrightarrow{M}_{L}$ 及$\overrightarrow{L}$之間的關係相同。然而，事實上卻非如此，我們必須寫

$$\overrightarrow{M}_{S}=-g_{S}\frac{e}{2m_{e}}\overrightarrow{S}$$

式中g_{S} 稱爲電子的迴旋磁比(*gyromagnetic ratio*)，亦稱爲自旋g因數(*spin g factor*)。由實驗所求得的g_{S}之值爲2.0024。對大多數實際上的應用而言，可令$g_{S}=2$。

今設一束似氫原子穿過一非均勻的磁場，如圖13—164所示，這一磁場的效應是對磁偶極產生一力，它的方向及大小與磁場及磁偶極的相對方向有關。例如，假若磁偶極子係與磁場同向則它就向磁場增強的方向運動，如果磁偶極與磁場反向，則它將向磁場減小的方向運動。

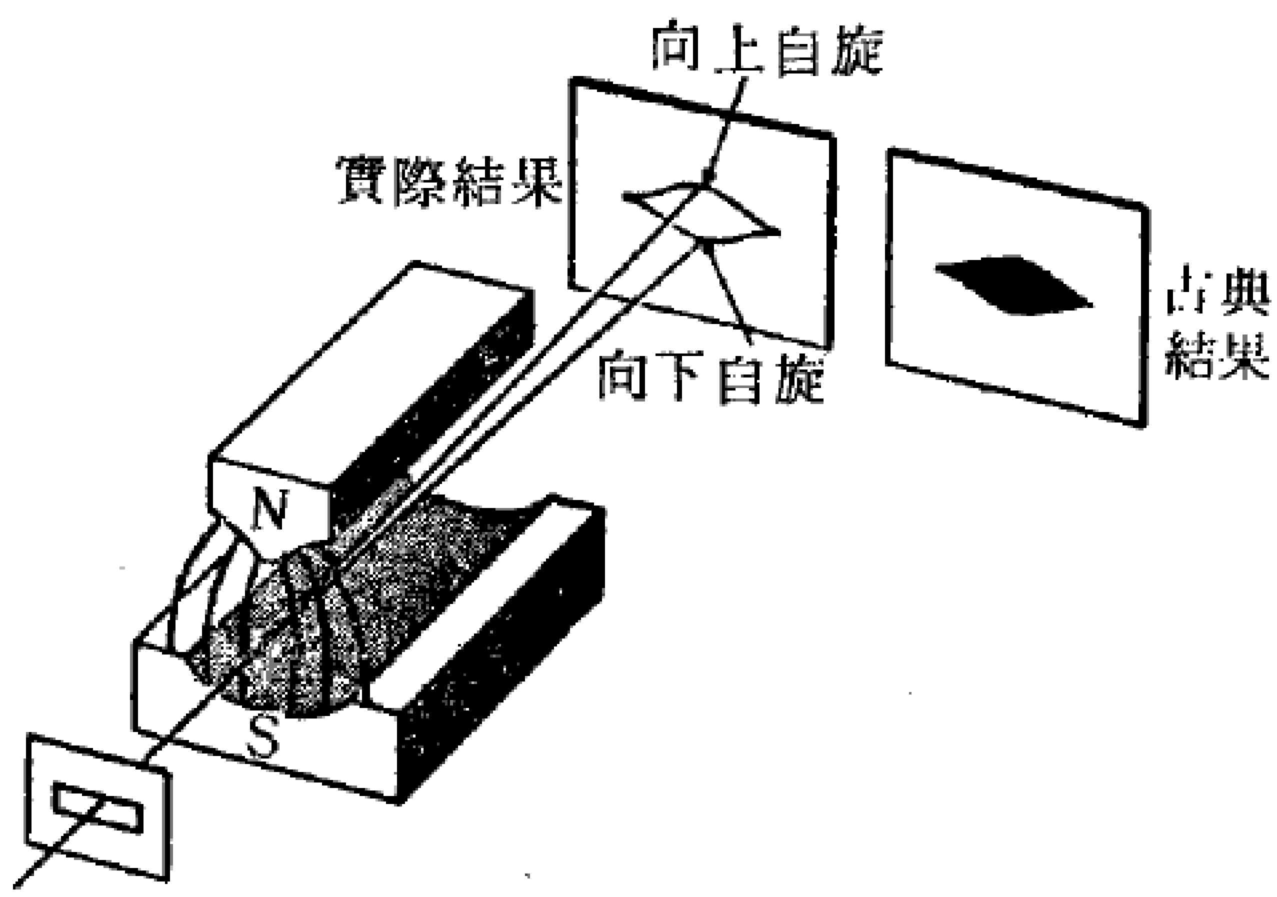


圖13—164

在史特恩、革拉克的實驗中，非均勻磁場是由如圖13—164所示的特殊表面形狀的磁極所產生。磁場的強度係向$S-N$的方向而增強。假如電子的軌道角動量爲零(s狀態或$l=0$)，則全部磁矩乃由自旋產生。所以原子束將因磁場的作用產生偏向，其所偏方向，依據於$\overrightarrow{M}_{S}$ 的方向，或取決於與$\overrightarrow{M}_{S}$相當的$\overrightarrow{S}$的方向。實驗的結果爲原子束被非均勻磁場分裂爲二，此表示電子自旋相對於一已知方向僅有兩個方位；或與已知方向同向，或與已知方向反向。因爲一角動量相對於一固定Z軸之方位數爲

$$g=2l+1$$

對自旋的情況而言，可得

$$g = 2 \qquad 或 \qquad l = \frac{1}{2}$$

以 s 代替 l 表示自旋量子數（*spin quantum number*），並以 m_s 表示對應於分量 S_z 的量子數，於是得

$$s = \frac{1}{2} \quad 以及 \quad m_s = \pm\frac{1}{2}$$

因此

$$S = \sqrt{s\,(s+1)}\,\hbar = \sqrt{\frac{3}{4}}\,\hbar \qquad s = \frac{1}{2}$$

$$S_z = m_s\hbar \qquad m_s = \pm\frac{1}{2}$$

m_s 之僅有的二允許值（即 $+\frac{1}{2}$ 及 $-\frac{1}{2}$）對應於 S 的兩個可能方位，如圖 13—165 所示，爲簡潔起見，通常稱之爲向上自旋（*spin up*）（↑）及向下自旋（*spin down*）（↓），雖然實際上自旋絕不指向 Z 軸或與 Z 軸反向。

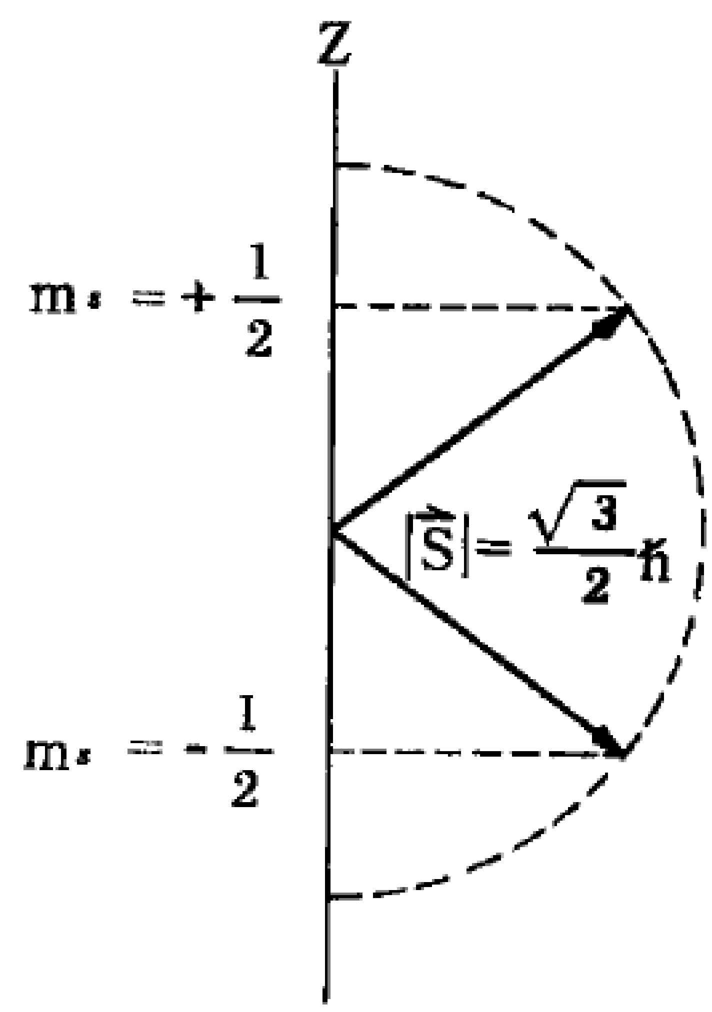


圖 13 — 165
相對於 Z 軸之自旋的可能方位

【電子自旋共振】（Electron spin resonance）

具有未成對（*unpaired*）電子的原子或分子；或具有未成對核子（*nucleon*）的原子核（即奇數 Z 與奇數 A，或偶數 Z 與奇數 A，或奇數 Z 與偶數 A 的原子核）均有磁變極矩，同時也有不爲零的總自旋角動量。當此類試樣置於磁場中時，因則曼（*Zeeman*）效應，使磁矩的量子態劈裂成若干能階。當有另一外加振動磁場存在時，若其頻率適當，產生共振，則可誘發上述能階間發生躍遷現象，產生輻射或吸收輻射。這種過程稱爲電子自旋共振（*E.S.R.*）或稱電子順磁共振（*E.P.R.*），

。

電子自旋共振現象多用以研究過渡離子（ *d* 電子）、內過渡離子（ *f* 電子）、穩定或非穩定單基（ *monoradicals* ）雙基（ *bi-radicals* ）、金屬、有機化合物、三重項分子的基態、受激態及固態物理中的雜質（ *impurity* ）等。

【電子自旋角動量】（ Electron spin angular momentum ）

無磁場時，薛丁格方程式（ *Schrödinger equation* ）所得的結果是完全正確的，在磁場中有些能階分開成三或五個能階，但仍有一些僅分裂成二個能階，特別是在只有一個價電子的原子光譜中（如鋰、鈉等）。解波動方程式時只能得到 1 ， 3 ， 5 ……等重合度狀態，而不能得到分裂成二個或四個能階的狀態。

這個問題直至古斯密（ *Goudsmit* ）和烏倫貝（ *Uhlenbeck* ）提出一個非常巧妙的假設後才告解決，他們假設除了軌道上的運動外，電子本身還可以自旋。目前我們可視電子爲固體物質代替一點，此電子就像廻轉器（ *gyroscope* ）一樣對它自己的軸旋轉，如此除了軌道角動量（ *orbital angular momentum* ） l 外，電子還有自旋而產生的角動量 s 。這 s 的值必須能說明在一磁場中可分裂成二個能階的狀況，軌道角動量 l 在一磁場中可產生 $2l+1$ 個能階，因此自旋角動量（ *spin angular momentum* ）也可產生 $2s+1$ 個能階，爲了使其等於 2 ， $2s+1=2$ ， s 就必須是 $\frac{1}{2}$ 了。因此自旋角動量在 z 方向的分量僅有二值

$$M_{sz}=+\frac{1}{2}\hbar \text{ 或 } -\frac{1}{2}\hbar$$

右下角的 s 表示自旋角動量。

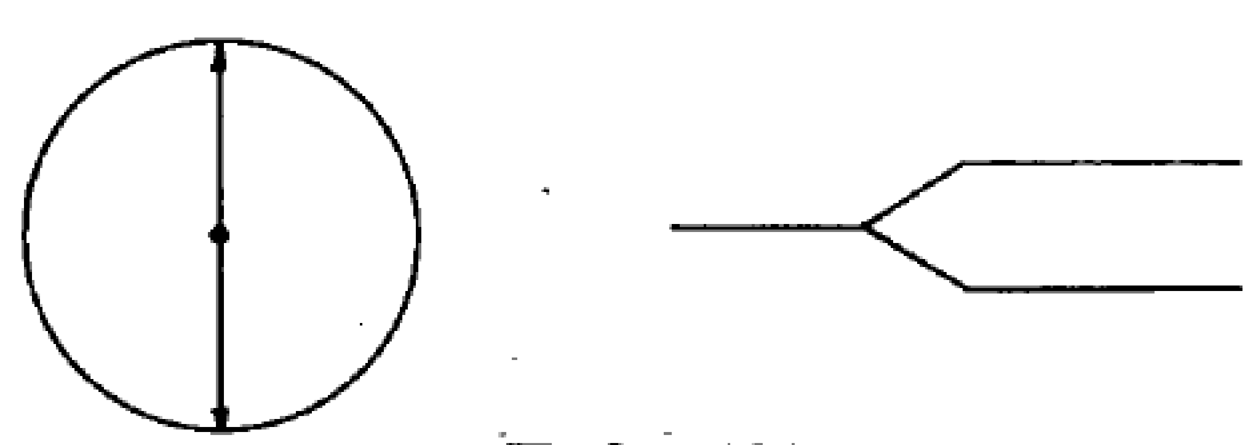


圖 13 — 166

電子自旋之空間量子化與則曼效應

在空間量子化（ *space quantization* ）的圖中（圖 13 — 166 ）自旋只能有兩個方向，卽與磁場同向或相反，在一磁場中

，只有一電子時每能階會分裂成距原來能階相等的兩能階。

【電子伏特】(Electron-volt)

在討論電子學與原子物理之部分時，所討論之對象均十分微小，若仍沿用力學或電學中之能量單位（如爾格、牛頓-米等），都失之過大，甚爲不便。物理學家發現，電子由電子槍中放出時，其速度恆與其加速電壓之平方根成正比

$$\gamma=\sqrt{2\,eV/m}$$

即若電子之質量不變，電子之速度，隨 eV 之值而改變， 於是一新能量單位乃由此導出，此一單位稱爲電子伏特，簡寫爲 eV 。

一電子伏特表示：一荷有電子電荷量的質點，通過一伏特電位，使電子加速而得之能量，稱爲一電子伏特。簡單說，一電子通過電位差爲 1 V 的電場，其所得之能量爲 1.60×10^{-19} 焦耳， 用新的能量單位電子伏特表示之，則

$$1\ eV=1.60210\times10^{-19}\text{ 焦耳}$$
$$=1.60210\times10^{-12}\text{ 爾格}$$

如一電子之電荷質點通過N伏特之電場加速所得之能量爲NeV，讀作N電子伏特。

電子伏特是功或能的一種單位，但不是電壓的單位。另有幾個相當有用之電子伏特的倍數爲仟電子伏特（*kilo electron volt*）以KeV表之；百萬電子伏特（*million electron volt*）以MeV表之；十億電子伏特（*billion electron volt*）以BeV 表示之。其關係式爲

$$1\ BeV=10^{3}MeV=10^{9}eV$$
$$1\ MeV=10^{6}\ eV$$
$$1\ KeV=10^{3}\ eV$$

【電子交連四極管振盪器】(Tritet oscillator)

石英振盪器，按該電子管分有二部，一爲三極振盪器，一爲四極放

大器，故以 *triode* 與 *tetrode* 合成 *tritet* 字。通稱電子耦合四極管振盪器。

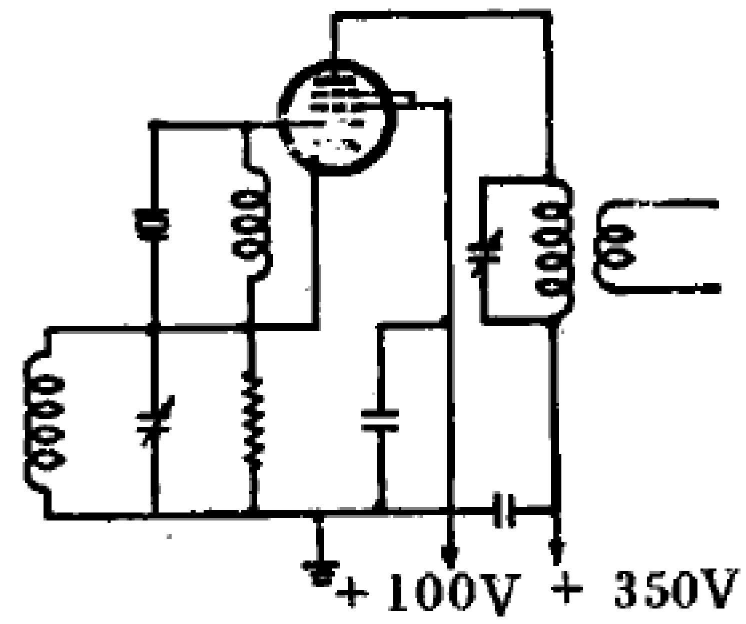


圖 13—167
電子交連四極管振盪器線路圖

【電子光學】（Electron optics）

這是電子學中的一個部門，它研究獲取電子束（射線）的方法，探求電子束在電場與磁場中折射的規律（電透鏡與磁透鏡），研究利用電子束以形成放射、反射或折射電子的物體影像的方法。電子光學與普通光學之間有著極為相似的規律。

【電子束】（Electron beam）

即電子射線。

參閱“電子射線（*Electron-ray*）”條。

【電子冷卻】（Electronic cooling）

半導體（*semiconductor*）有一種特性，即會因電流自一端流向它端而傳導熱能。此即熱電效應（*thermo-electric effect*）之一。利用這種特性，便可以不需要馬達或任何機動部分，而製成冷凍機（*refrigerator*）。圖 13—168表示*N*型半導體夾於兩種金屬間的能帶圖，我們可以利用此圖來解釋這種現象。因為半導體是*N*型的，故費米能階（*Fermi's energy level*）臨近傳導帶底端，當不同物質如半導體與金屬接合在一處時，則個別的費米能階將如圖13—168般互相配合起來。那也

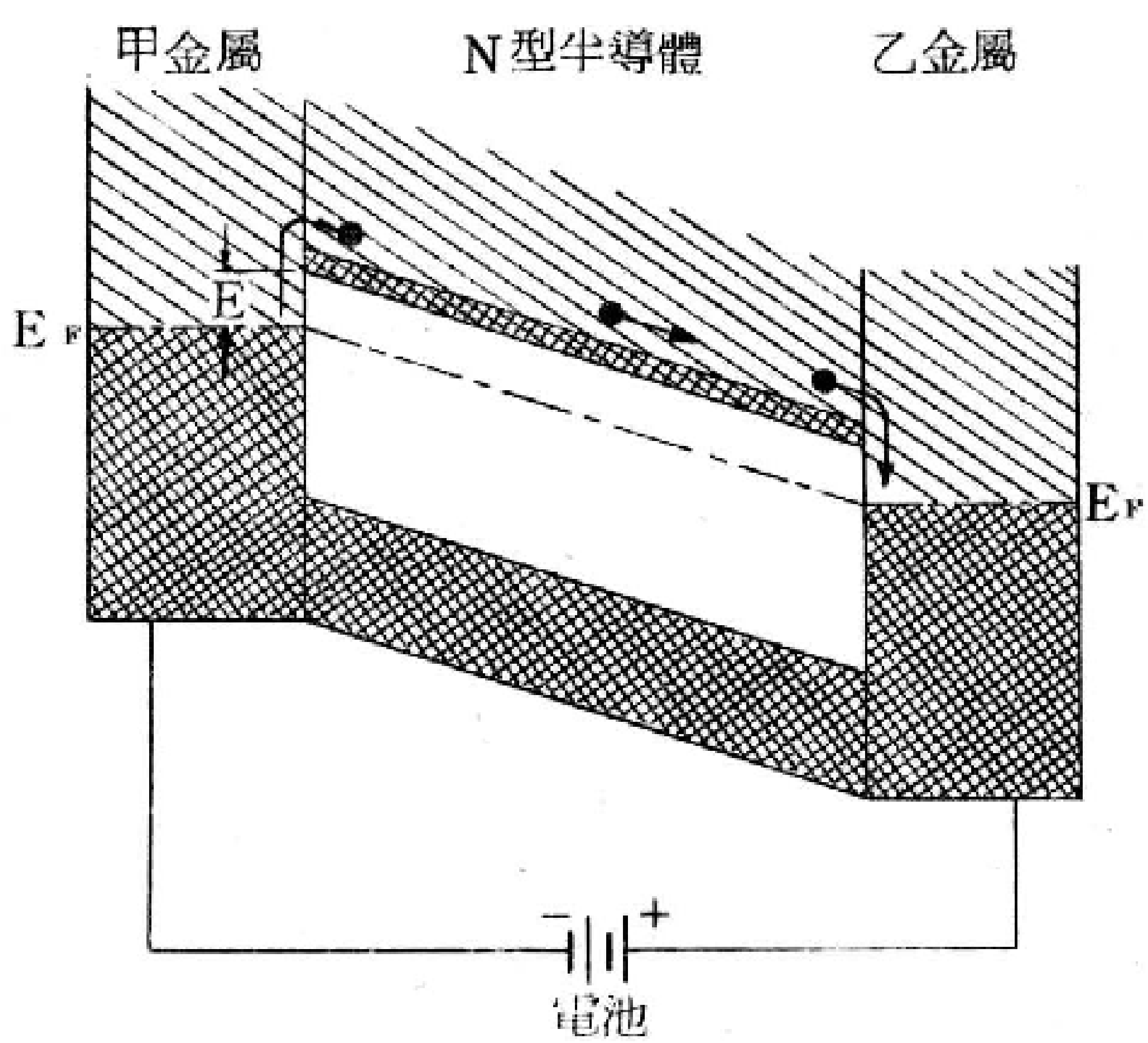


圖 13 — 168
用作電子冷卻裝置的N型半導體的能帶模型。

就是說：半導體傳導帶的底端與兩端相接金屬中的大部電子，在能量上稍有差別，以 E 表之。圖 13 — 168 中所示，半導體的能帶均作傾斜，也用以表示兩金屬已接於電源而產生電流。電源的電能使電子自左向右移動，一如圖中傾斜能帶所示，電子自高處向低處滾動。事實上，當電子在正極的一端，能量較在負極時為低因而傾斜的方向完全依照作能帶圖的準則。由於金屬導電係數較半導體為高，因此它們的能階，因與半導體相接而有少許傾斜（圖中沒有畫出來）。

如圖 13 — 168 的左邊，在那裏，電子自甲金屬流入半導體，但是甲金屬內多數電子無法超越能差 E，因而不能產生電流。僅有少許能量最大的電子才能超越 E，而進入半導體內。這些電子進入半導體之後，就沿傳導帶向乙金屬運動，終於進入乙金屬。於是能量最高的電子或最熱的電子，就由甲金屬漸漸流入乙金屬中，這時熱能就自甲金屬傳導到乙金屬，而使甲金屬冷卻。

從上述的過程，我們可以明確的看到，若自甲金屬流向乙金屬的電子愈多，冷卻效率（*cooling efficiency*）愈好，因此電流愈強，甲、乙間的溫差也就愈大。在冷卻過程進行中，冷卻效率與電流強度成正比。然而電流會產生熱量，即可使任何電阻溫度升高的效應，同時它與電流強度平方成正比，故當電流不太大時，半導體具有冷卻效應。但在電流大到某一定值時，電流的熱效應就會超過冷卻效應，這時

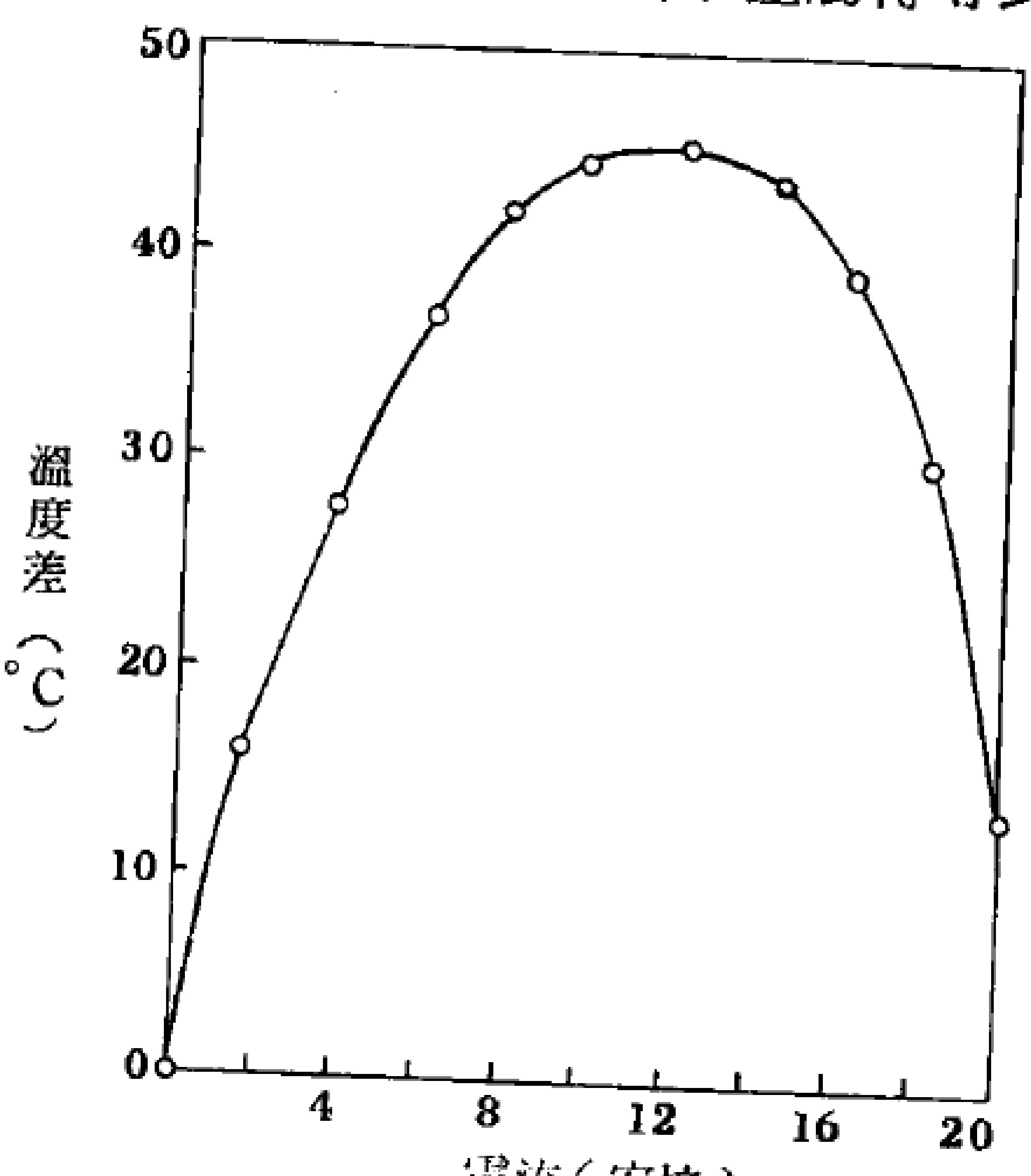


圖 13 — 169

碲化鉍電子冷卻器的冷卻效應與電流間的關係

若把電流繼續增大，冷卻效應不增反降。

圖 13 — 169 表示碲化鉍（ *BiTe* ）冷卻效應的變化情形。從圖中可以看出，當電流爲一定值時，冷卻效應最爲良好。碲化鉍的導熱率低而導電率高，因此爲最理想之熱電物質。若晶體的電荷符號不同時，導熱的方向就恰好相反。若把*N*型與*P*型半導體串聯使用，則它們各別的冷卻效應就相加在一起而得到最高冷卻效率。使用這種*N* - *P*串聯物質，可以使溫度差高達 80°*C*，它的效應足以使水冷卻成冰。但此種冷卻裝置之效率，仍較機械冷卻裝置爲低，因此除非在某些特種用途（如需要利用它的小體積及不產生噪音等特性）才使用這種電子冷卻裝置。

此種現象在 1834 年，由法國人帕耳帖（ *Peltier* ）所發現，故電子冷卻稱爲帕耳帖效應。

【電子波】（ Electron wave ）

適合各分開軌道的電子波被德布洛利（ *De Broglie* ）用來解釋原子分隔的能階。在圖 13 — 170 中，最內的軌道含一條波；第二軌道含兩條。波軌道的半徑是依這些數目的平方成比例的，即 1，4，9 等。

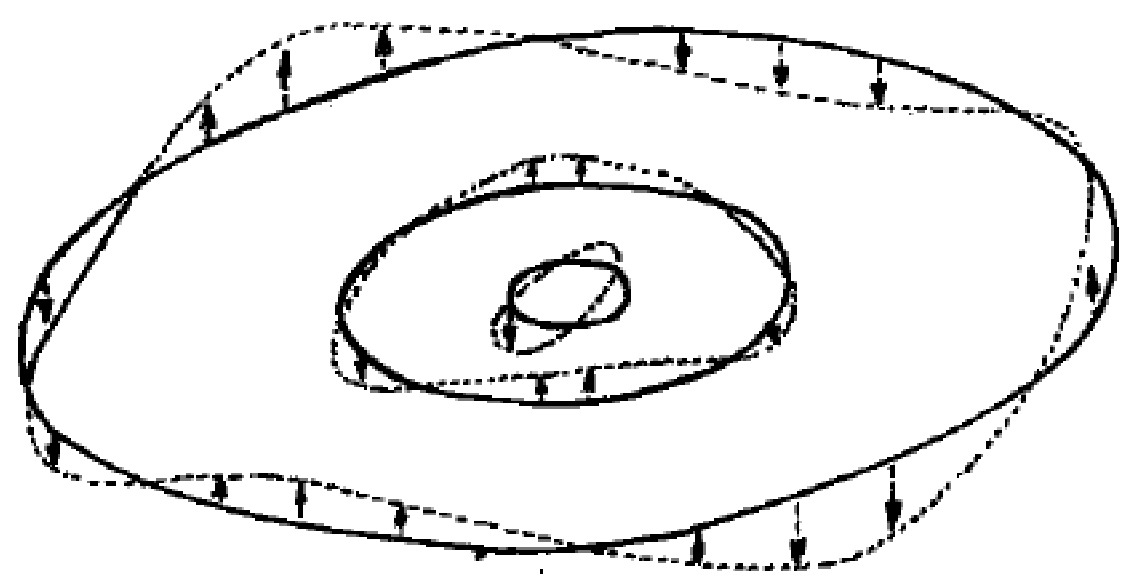


圖 13 — 170

【電子波干涉】（ Interference of electron wave ）

電子都是整團出現的，所以必經過第一孔或第二孔，故所有到達後屏的電子可分成二部分(1)所有經過第一孔的，及(2)所有經過第二孔的。所以我們觀察所得的曲線是經過第一孔的電子及經過第二孔的電子之效應的和。首先把經過第一孔的電子做一測量。蓋住了第二孔，然後計算偵察器的滴答聲。由滴答聲的速率我們得到了P_1。其結果爲圖 13 — 171(*b*)部分的P_1曲線。這個結果似乎是很合理的。同樣地，我們也可

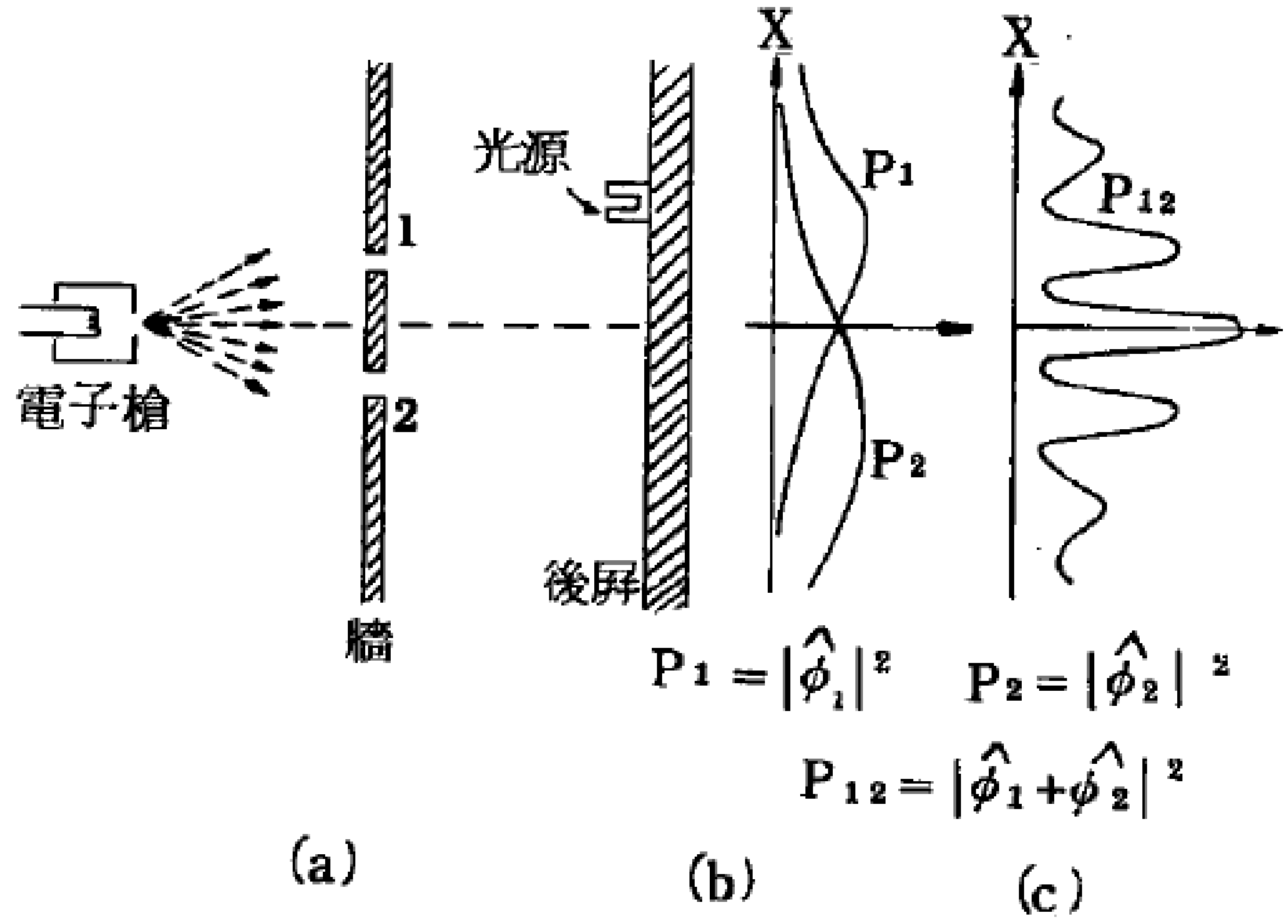


圖13—171

測得P_2。

當兩孔都開放時結果爲P_{2}。很顯然的，P_{12}非P_1與P_2的和。跟水波的實驗一樣，電子也有干涉現象，由電子的實驗知

$$P_{12} \neq P_1 + P_2$$

但令人驚訝的是P_1、P_2與P_{12}之間的數學關係非常簡單，在後屏所發生的一切可用兩個複數$\hat{\phi}_1$及$\hat{\phi}_2$來表示（此二複數當然是x的函數）。$\hat{\phi}_1$的絕對值的平方就是只開第一孔的效應，即$P_1 = |\hat{\phi}_1|^2$。只開第二孔的效應也是一樣的，即$P_2 = |\hat{\phi}_2|^2$。而二孔的聯合效應爲$P_{12} = |\hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2|^2$。其所需的數學與水波時相同。

我們得到以下的結論；電子以整團的形式到達，像粒子一樣；而其到達機率的分佈情形與水波強度的分佈情形一樣。也就因爲如此，所以說電子有時像粒子，有時像波。

當我們在討論古典波動時，我們定義強度爲波動振幅的平方對於時間的平均值。我們以複數爲數學技巧來簡化分析的過程。但在量子力學中，振幅必須以複數來表示。只有實數部分是沒有用的。這暫時可說是技巧上的問題，因爲公式看起來都是一樣的。

因爲機率的分佈是如此的簡單，雖然並非恰是（$P_1 + P_2$），所以也沒有其他可討論的。但如果硬說自然界的現象都是如此的話，就有一些難以捉摸的事情發生。首先，因爲到達某一位置上的電子數目非爲經過第一孔與第二孔的電子的和，所以我們可以說電子並非只穿過第一孔或只穿過第二孔。

【電子波長】（Electron wavelength）

1924 年，布勒格（*Bragg*）認爲：任何力學系統中，波動和微粒子（或稱質點）的放射，是結不解緣的。他的研究建立了波動力學（*Wave mechanics*）。這一學說在原子能領域中，和原子及次原子的質量與波動有關。所以認爲質點的振動有其波長。波動力學使量子論大爲充實。布勒格在數學上利用了量子方程式，故易於瞭解。量子方程式爲

$$E = h\nu \qquad (1)$$

式中之 E，可用愛因斯坦（*Einstein*）"質量和能量相等"的方程式代入。愛因斯坦的方程式爲

$$E = (m - m_0)c^2 \qquad (2)$$

上式中 E 爲光子的能量，m 爲運動質點的質量（*velocity mass*），m_0 爲靜止質點的質量（*rest mass*），c 爲光速 $= 3 \times 10^8$ 米/秒。

由於光子是永遠以恆速（光速）運動不息的，所以其 $m_0 = 0$；否則它的 m 值可能會達於無窮大（∞）。m 值係由下列方程式決定

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

式中 v 爲質點的運動速率。對光子而言，$v = c$。故 $v/c = c/c = 1$。代入上式，即光子的 $m = \frac{0}{0}$。

於是方程式（2），成爲

$$E = mc^2 \qquad (3)$$

將（3）式代入（1）式，得

$$mc^2 = h\nu \qquad (4)$$

亦即

$$m = \frac{h\nu}{c^2} \qquad (5)$$

因爲

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

故 $$c = \nu\lambda \tag{6}$$

將（6）式代入（5）式，得

$$m = \frac{h\nu}{(\nu\lambda)^2} = \frac{h}{(\nu\lambda)(\lambda)} = \frac{h}{c\lambda}$$

結果 $$\lambda = \frac{h}{mc}$$

可知光波的波長，可藉其動量（*momentum*）mc 以說明之。1924年，布勒格建立了“具有速率的微粒子，其運動的波長，同樣可藉其動量以說明之”的方程式，即

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$$

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{e}\sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 r}{m}} = 33\times10^{-11}\ m = 3.3\ \mathring{A}$$

【電子性化合物】（Electron compound）

合金是一種混合物。假設有一合金含 A 和 B 兩類原子，A 和 B 的原子價不同，且相互之間以一種任意的方式排列在晶格上。

合金形成的第一個條件取決於原子的大小；若 A 和 B 的原子直徑相差在百分之十五以上，這就很難形成合金。除此條件外，還要看 A 和 B 是否有形成穩定化合物的趨勢，如果這種趨勢很強烈，則 A 和 B 也很難形成合金。至於合金內的晶體結構，有些是與平均電子濃度有關；所謂平均電子濃度是指合金內每個原子平均所擁有的傳導電子的數目，用符號 n 表示。不同範圍的 n（n 隨 A 和 B 相對的數目組成不同而異）就形

成合金各種不同的相（也就是不同的晶體結構），例如，在銅（$n=1$）和鋅（$n=2$）的合金，如果數目組成是銅和鋅各百分之五十，這合金的$n=1.50$，特稱β相。

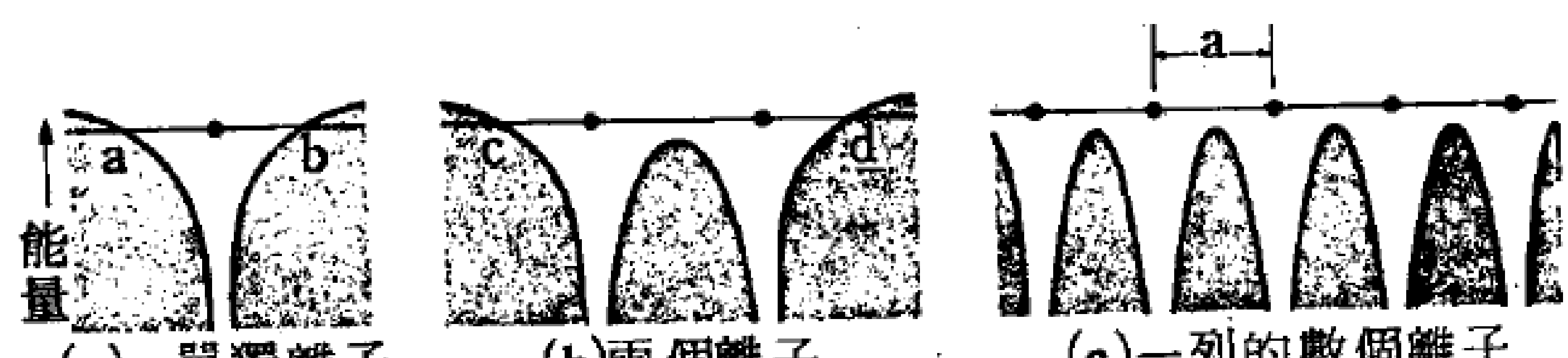
所謂電子性化合物並非化合物，而是指其中間相（50％的A對50％的B，譬如$CuZn$的β相）。此中間相的晶體結構可由休木、若塞瑞定則（*Hume-Rothery rule*）求得。

參閱"金屬互化物（*Intermetallic compound*）"條。

【電子於固體中之能量】（**Electron energy in solid**）

當原子密集在一固體中時，由於固體中鄰近原子所產生的電場作用，使得它們的外電子或價電子（*valency electron*）的運動深深地受到干擾。

試考慮如一價電子的原子，我們可以看到這些原子好像係由一個電子及一個正離子組合而成。故可視鈉（Na）原子（$Z=11$）為一含有一個Na^+離子及一個在Na^+離子電場中運動的電子（價電子）之原子，價電子所感受的電位能示於圖13—172(a)中。假如價電子的能量為如圖中的水平線所示之能量，則電子依照古典的理論能在a與b之間運動，假如我們將兩個鈉原子放置在非常鄰近的位置上，則每一價電子均受到兩個Na^+離子的電場影響，使它們在如圖13—172(b)所示的電位能內運動。就如圖13—172(a)所示的相同能量而言，價電子能在c與d之間運動，因此價電子並不附屬於某一特別的鈉離子。假若現在我們有一片由很多鈉原子所組成的固體鈉，這些鈉原子係有規則的排列在一格子上，則價電子所感受的合電位能就如圖13—172(c)所示。我們



(a)一單獨離子　(b)兩個離子　(c)一列的數個離子

圖13—172　庫倫位能

將注意到價電子能夠在鈉原子的格子中到處自由地運動，所以它們並不局限在某一特別的原子內。當一電子穿過鈉離子的格子運動時，位能將隨格子之週期成週期性的改變。由圖中我們也可看到內殼層的電子具有較高的束縛能，不受干擾並且局限在它們各自的原子內。

已知原子中的電子僅能佔有一定的能階。然而，在格子中我們卻發現電子能在一定的能帶（*energy band*）（圖 13—173）而不是能階內運動。每一能帶與某一原子能階相關。

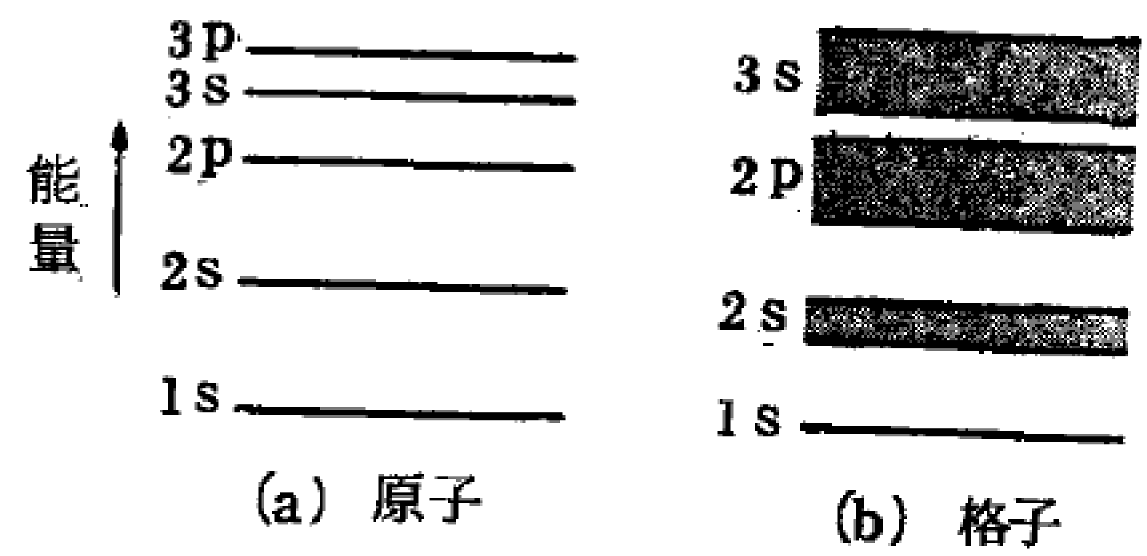


圖 13—173

原子能階與在格子中能帶之比較

庖立不相容原理（*Pauli's exclusion principle*）限制能填滿某一 nl 原子能階的電子數，同樣地這原理也限制格子中某一能帶內所能容納的最高電子數。例如，考慮與鈉原子中 3 *s* 原子能階相當的能帶，因為每一 *s* 原子能階最高可以容納兩個電子，所以在一含有 N 個鈉原子的格子中，3 *s* 能帶能夠容納 2 N 個電子。然而，在鈉原子中每一 3 *s* 電子僅含有一個電子。所以在一含有 N 個鈉原子的格子中，3 *s* 能帶內只含有 N 個電子，即能帶為半填充帶（如圖 13—174）。

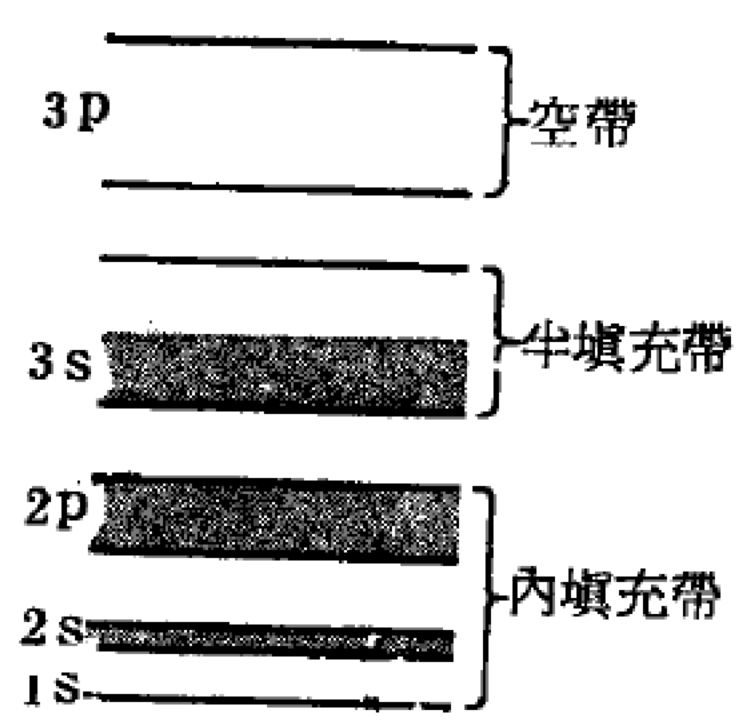


圖 13—17

導體中之能帶

因為在一原子中，組成核的所有能階（最高能階除外）均已充滿電子，所以我們得一結論為在一固體中所有較低的能帶亦充滿電子，但是由價電子所佔有的最高的（或價）能帶，可能充滿或者沒有充滿電子。價帶中的電子數，在決定固體電的性質方面是非常重要。

【電子流】（Electronic current）

電子流是因導體內有電場存在，電子被電場所牽引而開始運動所形

成。在靜電學中，我們不考慮電子流的持續運動，也就是說，我們不去管導體內的電子由於電場的影響而發生的運動，但當這些電子在某一種新的排列下，使導體內任何一點的電場為零時，它們就不再運動了。這種過程通常在極短暫的時間內就完成了。假如導體內仍有些微的電場殘留，則這個電場仍然會迫使電子運動；因此，在導體內沒有持續的電子流的唯一可能狀況是任何一點的電場為零。

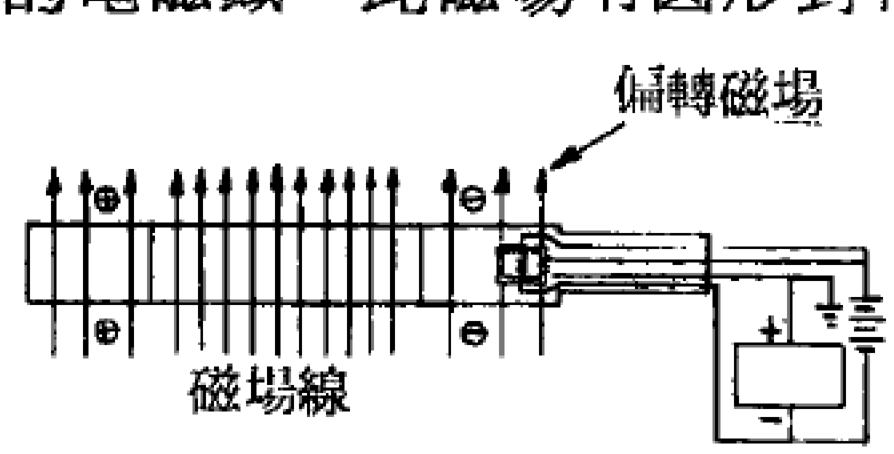
【電子重力學】(Electrogravitics)

又稱重力電學，乃科學界熱切期望之新科學。為研究直接控制或取消重力場，或新創造一重力場為主之科學。其未來具有革命性之發現，是否不需要引用科學中新原理之舊發明完成，迄仍存疑。

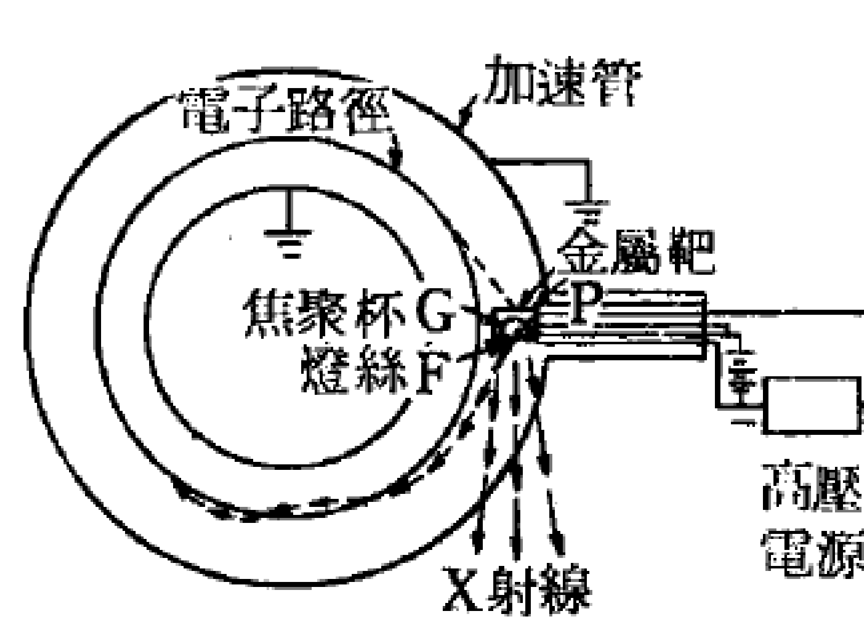
【電子廻旋加速器】(Electron cyclotron)

當磁場改變時，卽使沒有導線，也能產生電動勢。亦卽對任何空間的封閉曲線而言，將單位電荷所受之力作沿線積分，就等於此感生電動勢。這種電動勢，可以被利用作加速電子或其他帶電粒子之用。電子廻旋加速器(貝他加速器)就是應用這個原理設計的。電子在這種加速器內，一方面維持著一個固定半徑的圓形軌道，一方面靠著軌道曲線內所包含的磁通量的增加，而加速至相當大的速度，作為X射線或高能粒子的來源。廻旋加速器，由於電子的質量隨著速度增加的關係，不能被加速至太大的能量，電子廻旋加速器卻沒有這個缺點。

電子廻旋加速器的構造，主要包括一個產生磁場的電磁鐵。此磁場有圓形對稱性，然而對空間來說是不均勻的，對時間來說



(a) 場線的分佈



(b) 電子廻旋加速器之結構圖

圖 13 — 175

也是連續地增加的。其場線大致如圖13—175所示。

設電子的軌道的半徑爲R，在這個軌道內，磁通量漸漸加強，因此，產生感生電動勢$\varepsilon=-\frac{1}{c}\frac{d\Phi}{dt}$。因此，當電子在軌道上繞過一週後，其能量增加爲

$$\Delta W=(-e)\left(-\frac{1}{c}\frac{d\Phi}{dt}\right)=\frac{e}{c}\frac{d\Phi}{dt}$$

由這個能量的增加，即可算出電子在軌道上所受的切線方向的力。由於圓形對稱，電子在軌道上所受的力都是一樣的。因此

$$F=\frac{dW}{ds}=\frac{W}{2\pi R}=\frac{e}{2\pi Rc}\frac{d\Phi}{dt}$$

s爲軌道的周界長度。這個力也就是動量對時間的改變：

$$\frac{dp}{dt}=\frac{e}{2\pi Rc}\frac{d\Phi}{dt} \qquad (1)$$

另一方面，爲了要維持固定的半徑，電子在磁場內所受的徑向力$\frac{Bev}{c}$必須等於其動量的改變的徑向分量

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_r=(\omega\times p)_r=\frac{v}{R}p$$

因此，在軌道上，磁場必須隨著動量增加：

$$p=\frac{eR}{c}B \qquad (2)$$

由(1)與(2)式，我們得到在軌道內磁通量的變化與在軌道上磁場變化的關係

$$d\Phi=\frac{2\pi Rc}{e}\cdot\frac{eR}{c}dB=2\pi R^2dB \qquad (3)$$

這就是電子迴旋加速器維持軌道的條件。我們可以看軌道內的平均磁場強度

$$B_{ave}=\frac{1}{\pi R^2}\Phi$$

因此，（3）式為

$$d\,B_{ave}=2\,dB \qquad (4)$$

也就是說，在任何瞬間，軌道內平均磁場的增加量必須等於軌道上磁場增量的兩倍。

普通電子廻旋加速器只能將電子加速至約300 MeV 左右，能量不能再增加。這是由於電子被加速至高能量時，(1)由於能量的輻射，使（1）式未能滿足；(2)磁場的變化，在技術上很難完全合乎（4）式的要求。

圖13—175(*b*)是一具電子廻旋加速器的結構圖。右方為一電子發射器。熱電子從燈絲發出，經板極P初步加速並經過焦聚後，被送進加速管，同時磁場也依照（4）式的條件增加，電子在加速管內即被加速。如要釋出加速後的高能電子，可暫時破壞（4）式的條件，使電子脫離原來的軌道而被釋出。這種高速電子，可以被用於產生X射線（將這高速電子打在一個金屬靶上就行）。

【電子軌道】（Electron orbit）

【Ⅰ】在原子中的電子軌道

是指電子繞原子核運行的軌跡。以量子力學的觀點討論，則是指繞核運行之電子的運動波函數，也就是其薛丁格方程式（*Schrödinger equation*）的特性解（*characteristic solution*）。

電子分層繞核運行的原子理論，建立於拉塞福（*Rutherfold*）、波爾（*N. Bohr*）和左末非（*Sommerfeld*）諸氏。認為電子繞核運行必須滿足量子化條件，也就是電子的角動量，必須為$\hbar$的整數倍，$\hbar$是一常數，為浦朗克常數h被2π除後之商。而電子的狀態可由四個量子數決定，即主量子數n，軌道量子數l，磁軌道量子數m_l，及磁自

旋量子數m_s。或n、l、j（總角動量量子數）及m_j（總磁角動量量子數）。這些量子數也決定電子軌道的大小與形狀。

n量子數在命名中位置在l量子數之前。l爲0,1,2,3,4,5……其名稱爲s,p,d,f,g,h。

當l爲0時，不管n爲何數，皆叫s層軌道。s軌道只有一種方向，因爲$l=0$，則$2l+1=1$。當l爲1時，叫p層。因爲$l=1$，則$2l+1=3$，故p軌道有三個方向。其名稱爲p_x,p_y及p_z。當$l=2$時，叫d層，d軌道有五種方向，因爲$l=2$，$2l+1=5$。下表中，有一些軌道的名稱。s,p,d,f,等名稱的由來，乃根據其電子雲（*electron cloud*）的形狀而來。

軌道與量子數

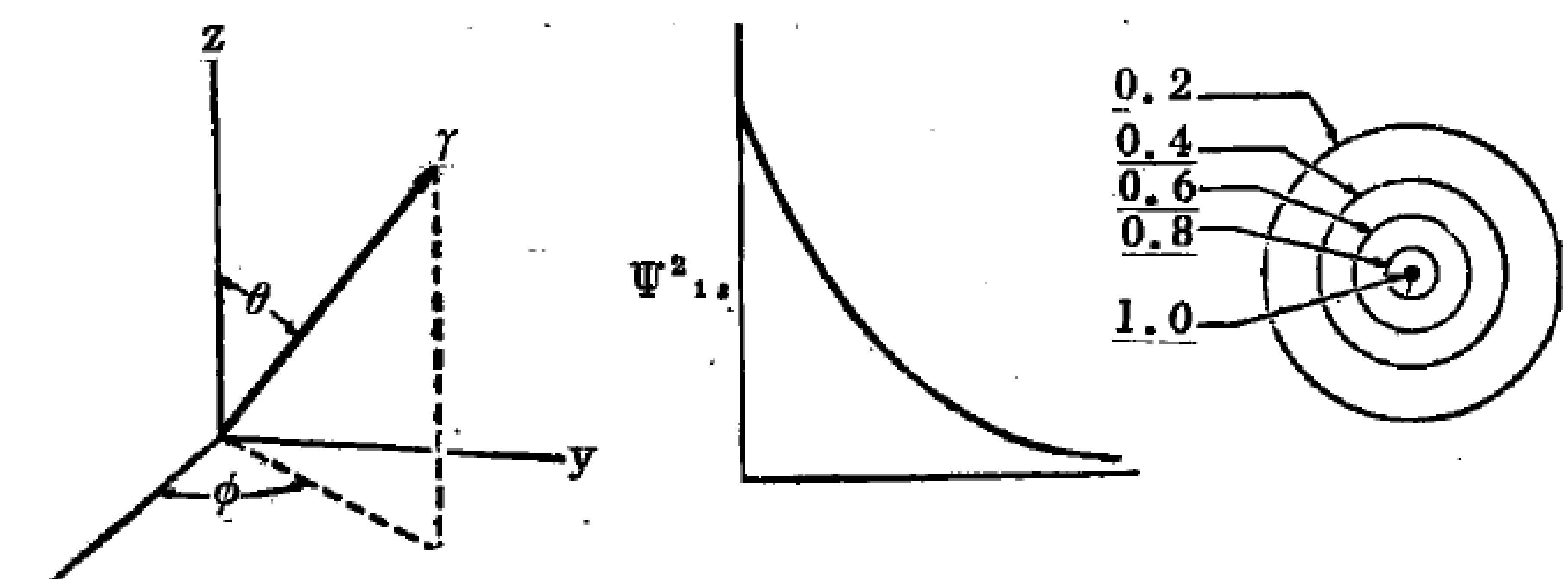
n	l	軌道	m	s	組成數	
1	0	1s	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	
2	0	2s	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	8
2	1	2p	+1, 0, −1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	6	
3	0	3s	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	18
3	1	3p	+1, 0, −1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	6	
3	2	3d	+2, +1, 0, −1, −2	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	10	
4	0	4s	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2	32
4	1	4p	+1, 0, −1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	6	
4	2	4d	+2, +1, 0, −1, −2	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	10	

4	3	4*f*	+3，+2，+1，0，−1，−2，−3	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	14 ⎭

就波爾學說（*Bohr theory*），氫原子的電子，離原子核 $a_0 = 0.529 \times 10^{-8}\,cm$，以一定速度 $v_0 = 2.182 \times 10^{8}\,cm/sec$ 作圓周運動，依照量子力學，其圖形與波爾圖形有相似之處，但意義不同。波函數（*wave function*）Ψ_{1s} 表示電子在原子中之軌道運行，僅在較靠近原子核時較大，離核 1 或 2 Å，則歸於零。Ψ_{1s}^2 表示在空間中任何點發現電子的或然率，例如在 1*s* 軌道，電子之 $|\Psi|^2$ 為

$$\Psi^2_{1s} = \frac{1}{\pi}\left(\frac{z}{a_0}\right)^3 e^{-2zr/a_0} \quad (a_0 = 0.529 \times 10^{-8}\,cm)$$

計算在任何 *r* 值下之數值，卽得在單位體積中與核相距 *r* 處發現 1*s* 電子的或然率，從式子裏，可以看出 1*s* 軌道上電子出現的或然率，僅隨 *r* 增大而作單調減低，與方向無關。如圖 13—176 所示。



(a) γ、θ、φ 之圓形極坐標與 x、y、z 軸關係　(b) Ψ^2 為 r 之函數（卽發現電子或然率的橫截面）　(c) 計量 Ψ^2 所得 1s 軌道的輪廓圖。亦卽函數 $|\Psi_{1s}|^2$ 爲一球形

圖 13—176
氫原子中 1s 軌道之表示法

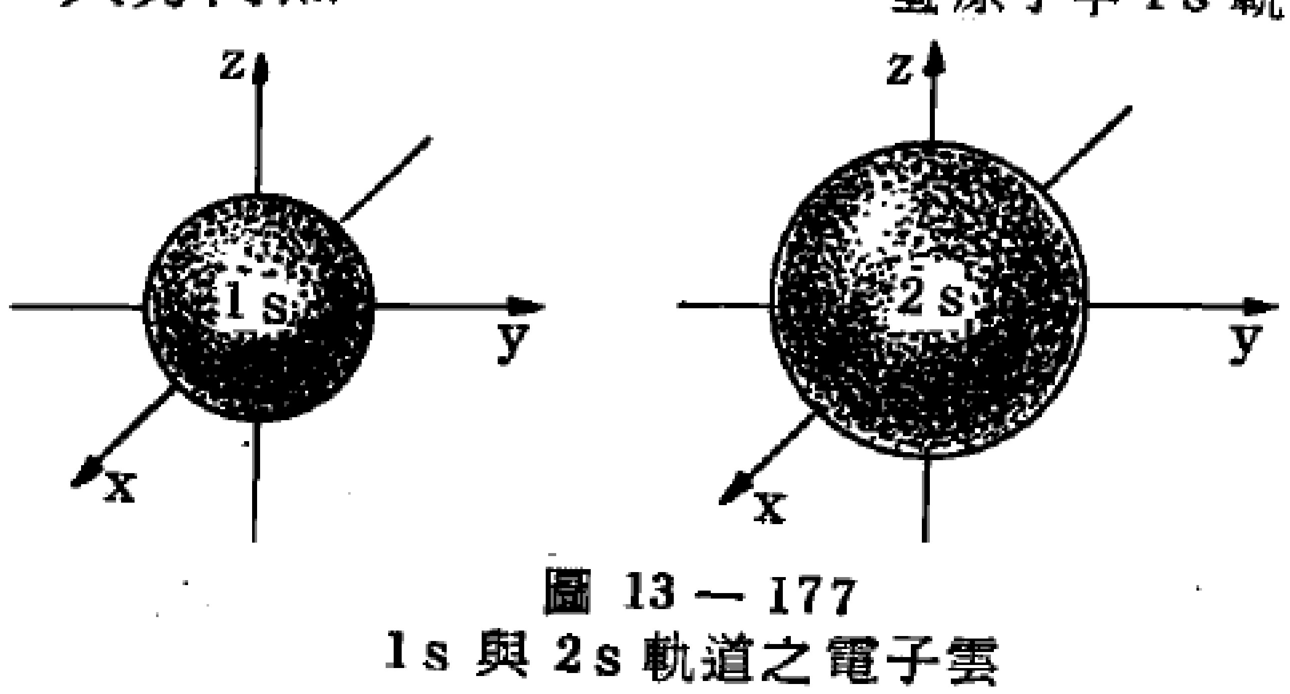


圖 13—177
1s 與 2s 軌道之電子雲

圖 13—177 乃依照函數 $|\Psi_{1s}|^2$ 爲一球形，代表氫原子的電子在 1*s* 軌道的形狀。核在坐標的原點上。平常用有界限的面來代替這

模糊的電子雲，在這個面內具有絕大部分的電子密度（約95％）。在這區域內，發現電子的或然率為0.95。

2*s* 軌道亦有球形界線面，但因*n*大，故範圍亦較大。如圖13—177。在這個球形裏，並不是每一處的電子密度都相同的，如已具有*s*軌道的形狀，便可以瞭解電子的半徑或然率分佈函數（*radial probability distribution function*）。此乃表示離核半徑為*r*，厚度為*dr*的球形殼之任何點上發現電子的或然率。半徑或然率與上述圖13—176(*a*)所繪電子的橫截面並不相同。以Ψ^2為*r*之函數所繪製的電子橫截面乃表示與核距離*r*的某一特定點上發現電子的或然率，而半徑或然率則探求與核距離*r*與*r*+*dr*間殼層上任何點發現電子的或然率。因此半徑或然率為$|\Psi|^2$乘上球形殼的體積$4\pi r^2dr$。如圖13—178表示半徑或然率如何決定1*s*軌道上電子與核間距離關係。

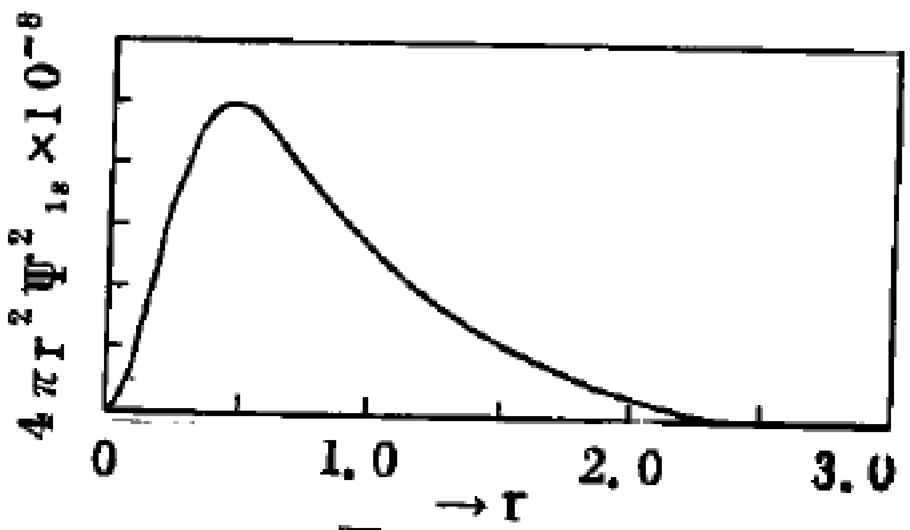


圖13—178

氫原子之1s軌道之半徑或然率分佈函數$4\pi r^2\Psi^2_{1s}$ dr為核間距離的比較

在核附近，因$4\pi r^2$很小，故發現電子或然率也很小。半徑或然率曲線之最大值，發現在最可能發現電子亦即最大電子密度的半徑上，就氫原子的1*s*電子而言，有一最大或然率的半徑0.529Å，為一最大電子密度的地方。由曲線顯示2*s*有兩個殼為電子集中之所在（圖13—181）。平均上，電子所處的距離要大於1*s*電子，這是因為近核的電子受到核的束縛而具較低的能量。

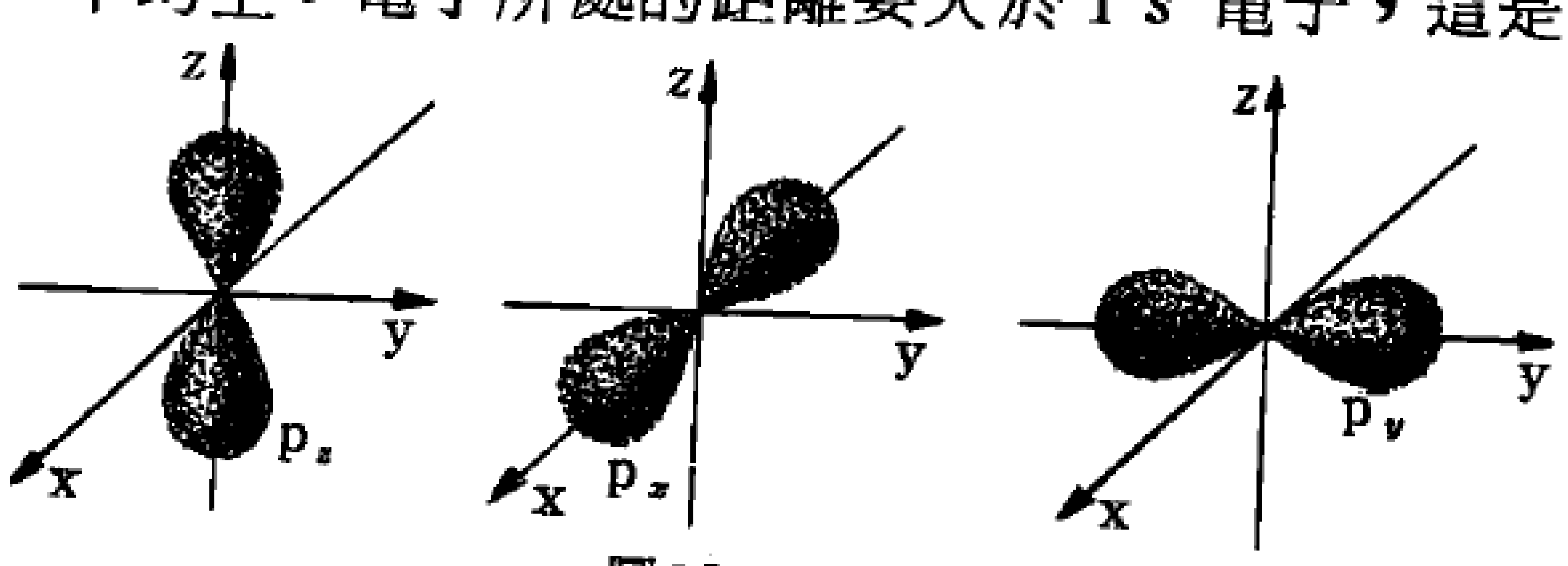


圖13—179

三個不同方向之p軌道p_x，p_y與p_z

依照函數$\Psi_p{}^2$，所有*p*軌道，具有相同的形狀，它們的界線，好

像個啞鈴，和 s 軌道不同的地方是，p 層具有方向而 s 層是對稱的球形。$p_x p_y p_z$ 名稱由來，乃因電子密度在 x 軸 y 軸或 z 軸，具有最大的密度而定。p_x 軌道的電子可在啞鈴形內的任何一處，每一瓣的電子密度相等。兩個瓣完成一個 p 軌道。原子核則處於二瓣的原點上。但瓣的每一處電子密度，並不相等。鈍端電子密度大，愈趨向核則愈尖，如圖13—179。p 軌道與 s 軌道不同，具有節面，在節面中，沒有電子密度。節面就是分開兩個瓣之平面。對 p_z 來講，xy 是節面。因爲節面的存在，我們可以將化學鍵的形式予以分類。

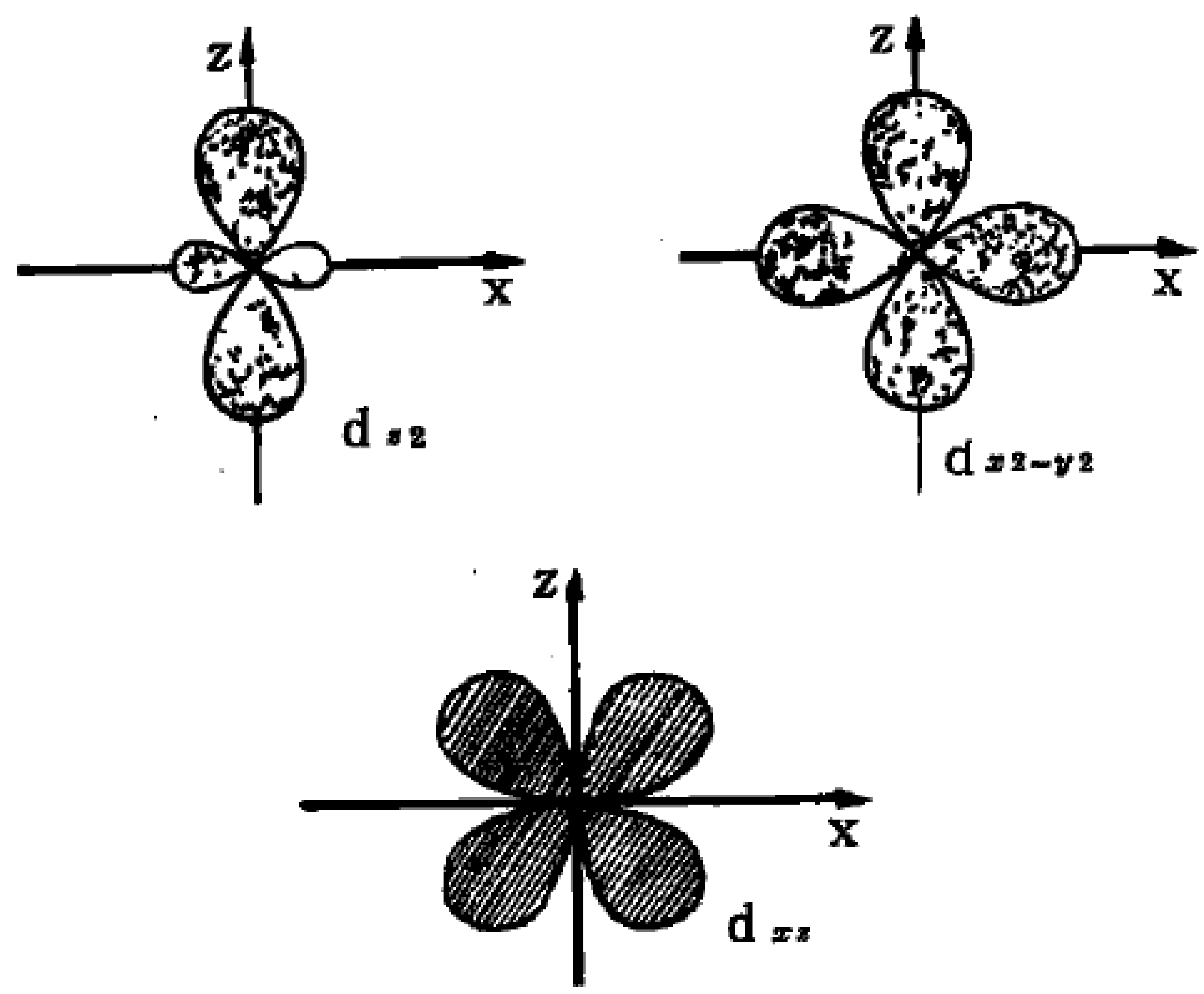


圖13—180
表示五個 d 軌道中之三個軌道 $d_{x^2-y^2}$，d_{z^2}，d_{xz}。

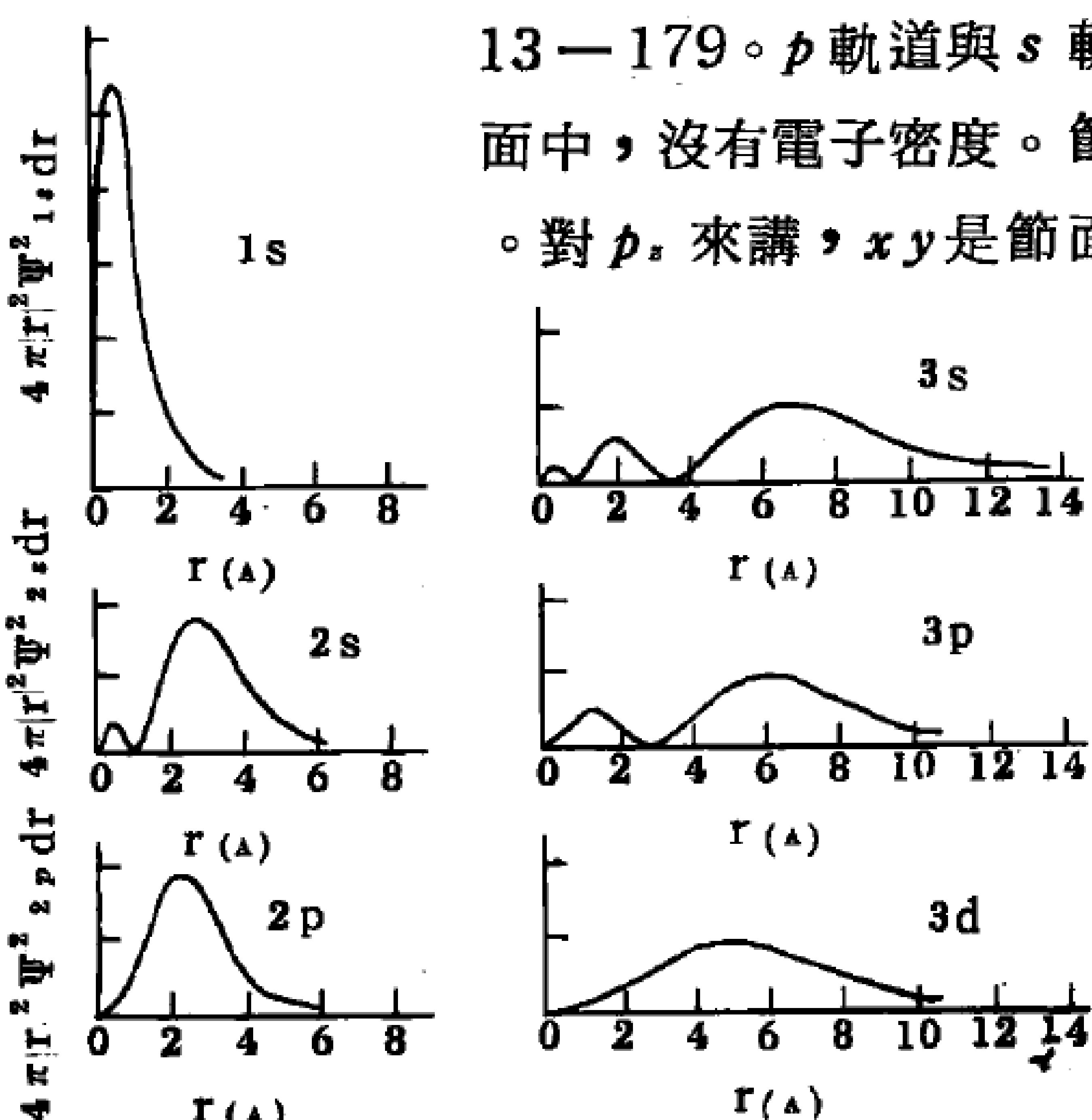


圖 13—181
氫原子之一些軌道之半徑或然率與 $4\pi r^2\Psi^2$ 之比例，所有分佈具相同尺寸

圖 13—180 是描述 d 軌道。$d_z{}^2$ 的形狀與其他四個形狀不同。$d_z{}^2$ 軌道電子密度集中在 z 軸。大部分與 p_z 軌道相似，但卻多加了一個圈形的餅，其餘四個 d 軌道像苜蓿的葉。具有四個瓣，兩個節面（

$d_{x^2-y^2}$除外）。$d_{x^2-y^2}$層在 xy 平面上，瓣與 x 軸及 y 軸相合；d_{xy} 層同樣在 xy 平面上，但是瓣在 x 軸與 y 軸之間。d_{xz} 與 d_{yz} 軌道之電子在 xy 及 yz平面上，其瓣在軸與軸之間。

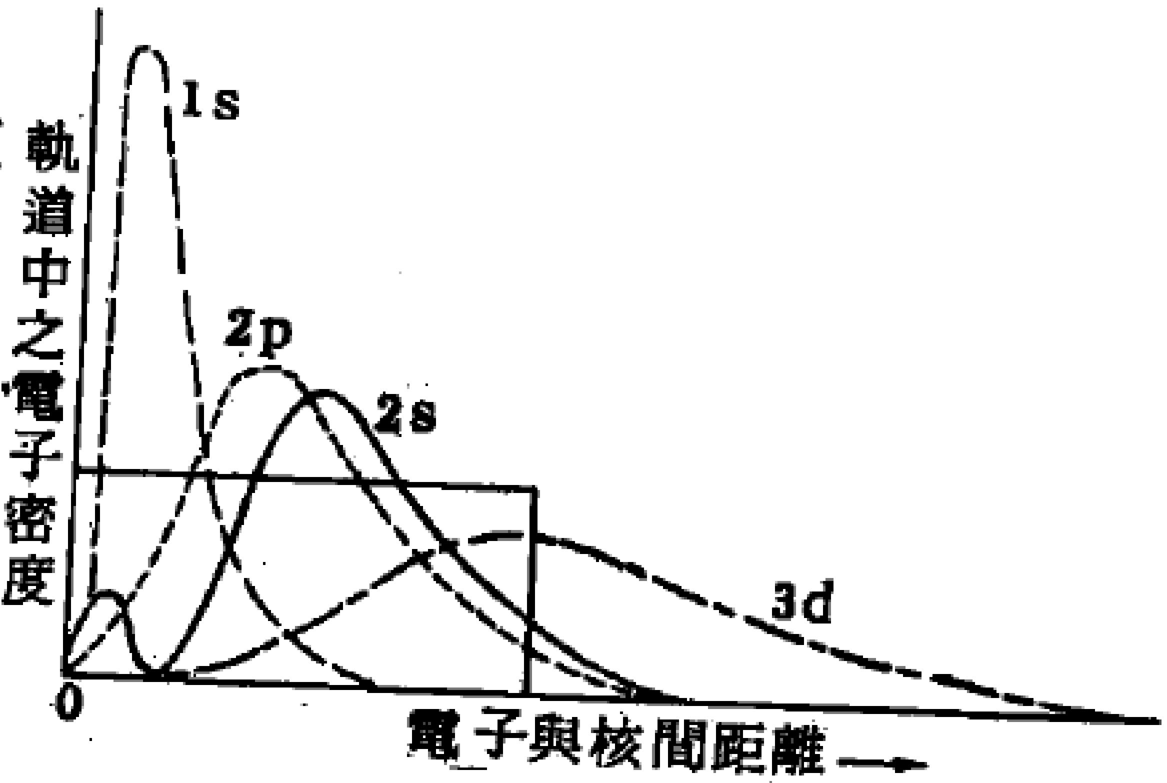


圖 13—182

在1s、2s、2p與 3d 軌道中電子密度分佈，爲電子與核間距離的函數。圖中直線表示若電子雲爲一定密度，則在界限圖之邊緣必突降至零

圖 13—181 與圖 13—182 表示 $1s$，$2s$，$2p$ 與 $3d$ 軌道之半徑或然率函數 $4\pi r\Psi^2 dr$ 與核間距離的比較。我們可發現 n 相同而 l 不同的電子，與核的平均距離大約相等。然而 s 電子比 p 電子具有更多接近核的機會，比起 d 電子更是如此。

s，p及 d 軌道的形狀，非常重要。但 f 與 g 軌道的形狀則不太重要。就能量而言，最低的能量態（最高的安定態），對氫原子的電子來說，是 $n=1$ 時，也就是當電子在 $1s$ 軌道。高的能量態（激發態）是當 n 爲大於 1 之任何整數。對氫來說，唯一影響能量的是主量子數 n（與 l 及 m 無關）。故推論出 $2s$ 與三個 $2p$ 軌道，有相同的能量。當 $n=2$時，氫具有四個軌道。也就是說四個軌道能量相同。$n=3$ 時具有九個軌道的，因爲一個 $3s$、三個 $3p$、五個 $3d$，具有相同的能量。

波動力學與波爾學說均承認氫原子的電子，從高的能階，進入低的能階而發生光譜。也就是放出量子或光子。

【Ⅱ】在晶體中的電子軌道

是描述一電子的運動時，通常均將其視爲一波包（*wave packet*），電子運動的速度就是波的群速度，大小爲 $V=d\omega/dk$（ω爲角頻率，k 爲波數），所攜能量與角頻率的關係爲 $E=\hbar\omega$，所以

$$V=\hbar^{-1}dE(k)\overline{\mathrm{K}}/dk \qquad (1)$$

在古典力學中，一質點的速度是漢彌頓函數（*Hamiltonian*）對動量的微分，即$V=\partial H/\partial p$，所以上式中的$\hbar dk$就相當於古典力學中的動量，稱它爲晶體動量（*crystal momentum*）。若電子在晶體內除晶格的位能外，尚有外力$\vec{F}$的作用，則能量的時變率爲

$$\frac{dE}{dt}=\vec{F}\cdot\vec{V}=\frac{1}{\hbar}\vec{F}\cdot\frac{dE(k)}{dk}\vec{\mathrm{k}} \qquad (2)$$

再由

$$\frac{dE}{dt}=\frac{dk}{dt}\vec{\mathrm{k}}\cdot\frac{dE(k)}{dk}\vec{\mathrm{k}} \qquad (3)$$

比較（2），（3）兩式得

$$\frac{\hbar dk}{dt}\vec{\mathrm{k}}=\vec{F} \qquad (4)$$

由（1），（4）兩式即可知電子在$\vec{\mathrm{k}}$空間及實空間（*real space*）的運動軌道。

首先考慮晶體受一外加電場的作用

$$\vec{F}=-e\vec{E}$$

則

$$\hbar dk\vec{\mathrm{k}}/dt=-e\vec{E}$$

所以在$\vec{\mathrm{k}}$空間，電子是在$-e\vec{E}$方向作直線等速運動，而在實空間的運動卻較複雜，要依能帶對$\vec{\mathrm{k}}$的關係而定（由（1）式可知）。在$\vec{\mathrm{k}}$空間內，當$\vec{\mathrm{k}}$到達布里元區（*Brillouin zone*)邊緣時，則其點與在布里元區另一邊的相對點是一樣的，故可將$\vec{\mathrm{k}}$空間的運動繼續以直線在第一布里元區內表示。如圖13—183(*a*)、(*b*)所示。

若外力是磁力，則

$$\hbar\frac{dk}{dt}\vec{\mathrm{k}}=-\frac{e}{c}\vec{V}\times\vec{H}=-\frac{e}{c}\frac{1}{\hbar}\frac{d\vec{\iota}}{dk}\vec{\mathrm{k}}\times\vec{H} \qquad (5)$$

$\vec{\mathrm{k}}$的運動垂直於能量對$\vec{\mathrm{k}}$的梯度，所以電子的能量不隨時間改變，即在

$\vec{k}$空間的運動是限制在一等能面上。此外其運動還垂直於磁場，所以它是在一等能面與一垂直於磁場的平面的橫截面外緣運動。因在通常情形下僅有費米面（*Fermi surface*）附近的電子可自由移動，故此等能面即爲費米面。在實空間的運動情形，由第（5）式得

$$\hbar \frac{dk}{dt}\vec{k} = -\frac{e}{c}\vec{V}\times\vec{H} = -\frac{e}{c}\frac{d\vec{r}}{dt}\times\vec{H} \qquad (6)$$

兩邊對時間積分，可知在實空間，其在垂直於$\vec{H}$之平面上所作的運動與在$\vec{k}$空間的形狀相同，二者之差一純量因子$eH/c\hbar$。又因（6）式右邊是叉乘積，故二者相差90°（即旋轉90°）。若電子在$\vec{H}$方向的初速不爲零，則其軌跡亦沿H方向等速移動。如圖13—183(*c*)，(*d*)所示。

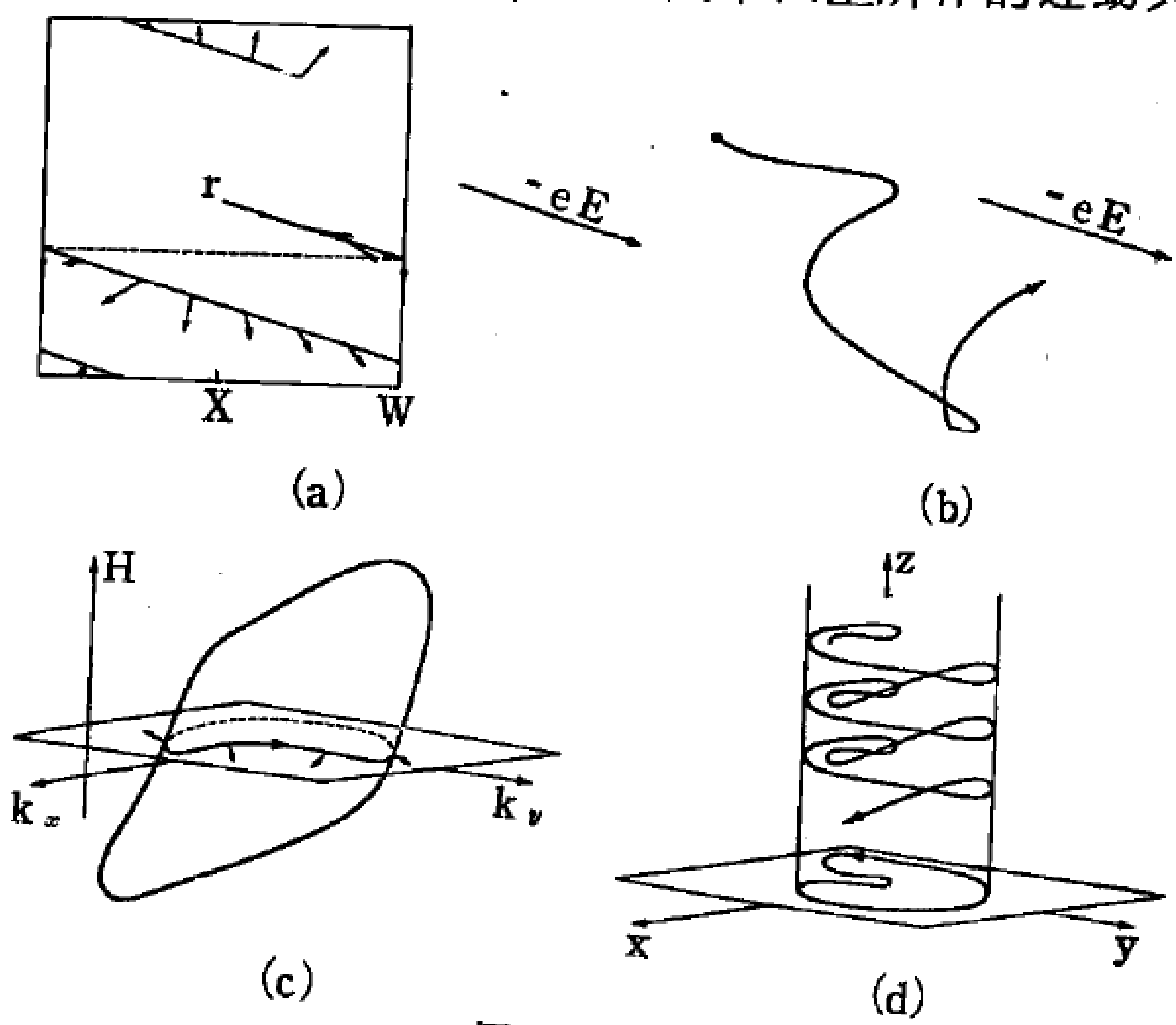


圖13—183

【電子計算機】（Electronic computer）

電子計算機包括類比計算機（*analog computer*）和數字計算機（*digital computer*）兩大類，都具有度量和計數的簡單觀念。然而通常所指的計算機，都指數字計算機而言。雖然如此，但我們瞭解，每架大型的數字計算機，包括了成千的恆溫器（*thermostat*）、求積計（*planimater*）和其他小型類比計算機，這些儀器都是以度量他量，來計算某量的。

電子計算機的構造極爲複雜，通常可分爲輸入（ *input* ）、輸出（ *output* ）、記憶（ *memory* ）、計算（ *calculate* ）及控制（ *control* ）等五大部門。又記憶、計算及控制等三大部門，我們總稱爲中央處理機。如圖 13 — 184。

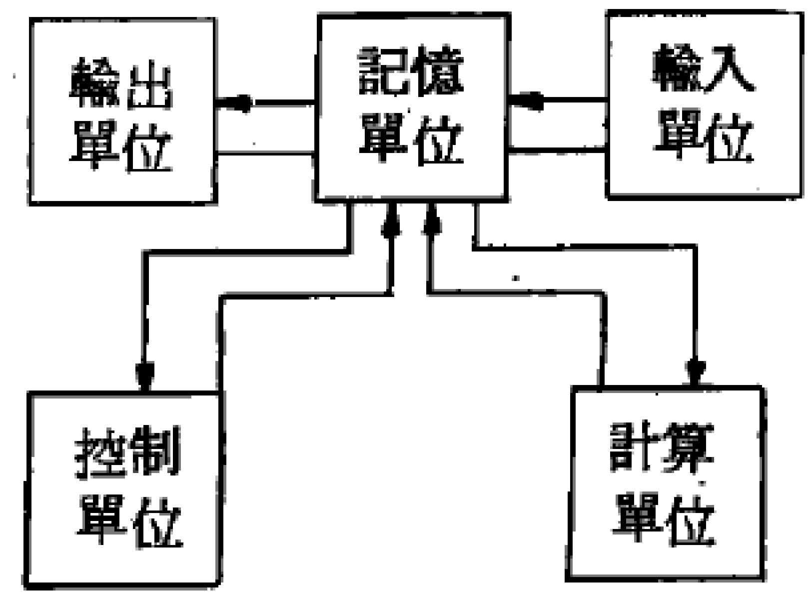


圖 13 — 184

電子計算機的計算，是有一定的法則。通常它在作計算或邏輯運算（ *logical operations* ）時，已有一部分的法則儲存於電子計算機中，其餘的法則如數目字或指令（ *instruction* ），則由外界輸入。因此，電子計算機在作運算時，必須將許多輸入資料事先儲存於記憶單位，然後再根據需要，依次自儲存單位取出，進行計算。如圖 13 — 184 記憶單位與計算單位是相互溝通的，記憶單位所儲存的資料，送入計算單位中，經過運算後的結果，再送回記憶單位儲存。除外，指令執行的先後次序，必須根據需要而具有一定的規則，因此電子計算機除了以上兩單位外，必須有一控制單位，來執行所需要的指令。經由計算的結果，並不能永遠儲存於記憶單位，必須取出，而用數目字或字母表達於報表（ *report* ）或卡片（ *card* ）上。

電子計算機的功用，除了可以預測變幻無常的氣象、進行醫療診斷、幫助引導人們到月球去、加強各大城市之間的通訊等等。現在，電子計算機還有繪製建築圖樣和商業圖表的能力，現在被畫家用來繪製各種美術圖案。

【電子穿隧】（ Electron tunnelling ）

在兩金屬中間夾一片絕緣體時，從古典理論的觀點來看，是不會導電的。但若此絕緣體甚薄時，就會發生導電現象。這是一種量子效應，須用量子力學解釋，稱之爲電子穿隧。

按照量子力學，電子的狀態是用一波函數描述。當考慮如上之系統，且有外加電場時，則電子在金屬內之行進可視爲一平面波。當其行至金屬與絕緣體的交界面時，波函數並不立即變爲零，而是以指數曲線下降。若絕緣體極薄（通常小於 20 Å），在絕緣體與第二塊金屬的交界處，波動函數仍具相當大小，所以第一塊金屬的電子就得以進入第二塊金屬。

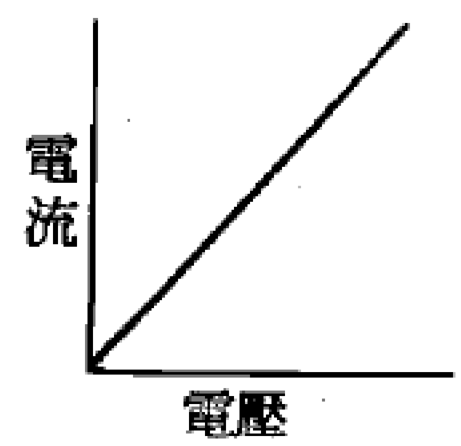


圖 13 — 185

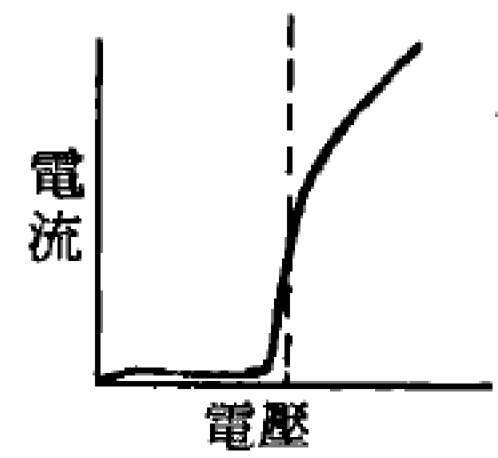


圖 13 — 186

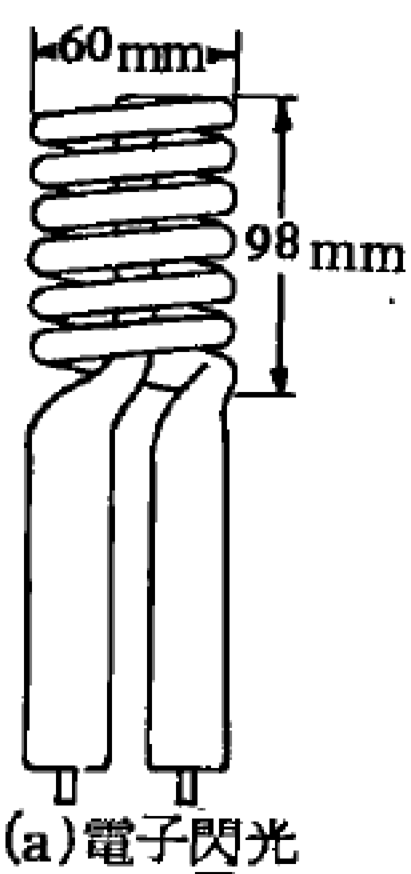
當二金屬均是正常導體時，在低電壓時電流與電壓的關係爲

$$I\,(NN) = cD_A\,(\varepsilon_F)\,D_B\,(\varepsilon_F)\,eV$$

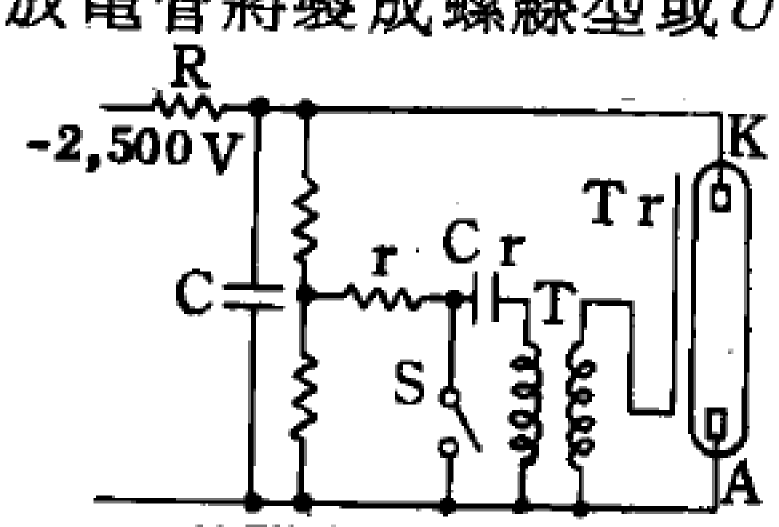
c 是常數，V 是外加電壓，$D_A(\varepsilon_F)$ 及 $D_B(\varepsilon_F)$ 分別爲二金屬在費米面的電子狀態密度。這是一直線圖（見圖 13 — 185）。若其中一金屬爲超導體時，則圖形變爲圖 13 — 186，因電子尚需克服超導體內的能量間隙。

【電子閃光器】（Electronic flash）

將充電於電容器的電荷，經放電管放電、發光，可獲得極短時間照明的器具。因效率或色溫度（*colour temperature*）關係，使用氙放電管（有時管內加少量氪），爲了使發光點盡量變小，放電管將製成螺線型或 U 字型（如圖 13 — 187）。



(a)電子閃光器放電管



S 快門連動接點
Tr 觸發用補助電極
(b)放電用電路

圖 13 — 187

此閃光器，按開關到點火時間略爲零，並發光時間也很短（保持最大光束的時間爲 200～400微秒，與電壓、電容器電容有關）。應使用照相機上 X 接點，使同步於快門全開時。色溫度爲

5,000～6,000°K，適合於彩色攝影。市販的電子閃光器大都爲小型的，光量不夠用。如考慮在實驗室的使用，應選購較大型的。下表所示，爲電子閃光器性能之例。

型式	電　源	使用電壓	輸　出 (W·sec)	閃光時間 (sec)	亮峯值 (M·$lumen$)	色溫度 (°K)
K	$D.C.$	1,000V	153	1/4,000	18	6,500
W	$D.C,A.C.$	200	44	2/1,000	2	6;500
W	$D.C.$	460	75	1/1,000	10	6,500

【電子射線】(Electron-ray)

這是應用於各種電子眞空器件內的由飛行電子所組成的細束。又稱電子束。

【電子射線管】(Electron-ray tube)

在指示 (*indication*) 電路中，常利用一種稱爲魔眼 (*magic eye*) 的電子射線管來擔任，這種特殊結構應用於指示器的眞空管，如 6E5，6U5，6AN5，6N5 等，多數用於接收機的調諧指示。電子射線管構造，主要包括兩個部分，⑴爲三極管部分，⑵爲射線管部分，如圖 13—188 所示之構造，管的上半段爲射線管，下半段爲三極管部分，陰極共用。

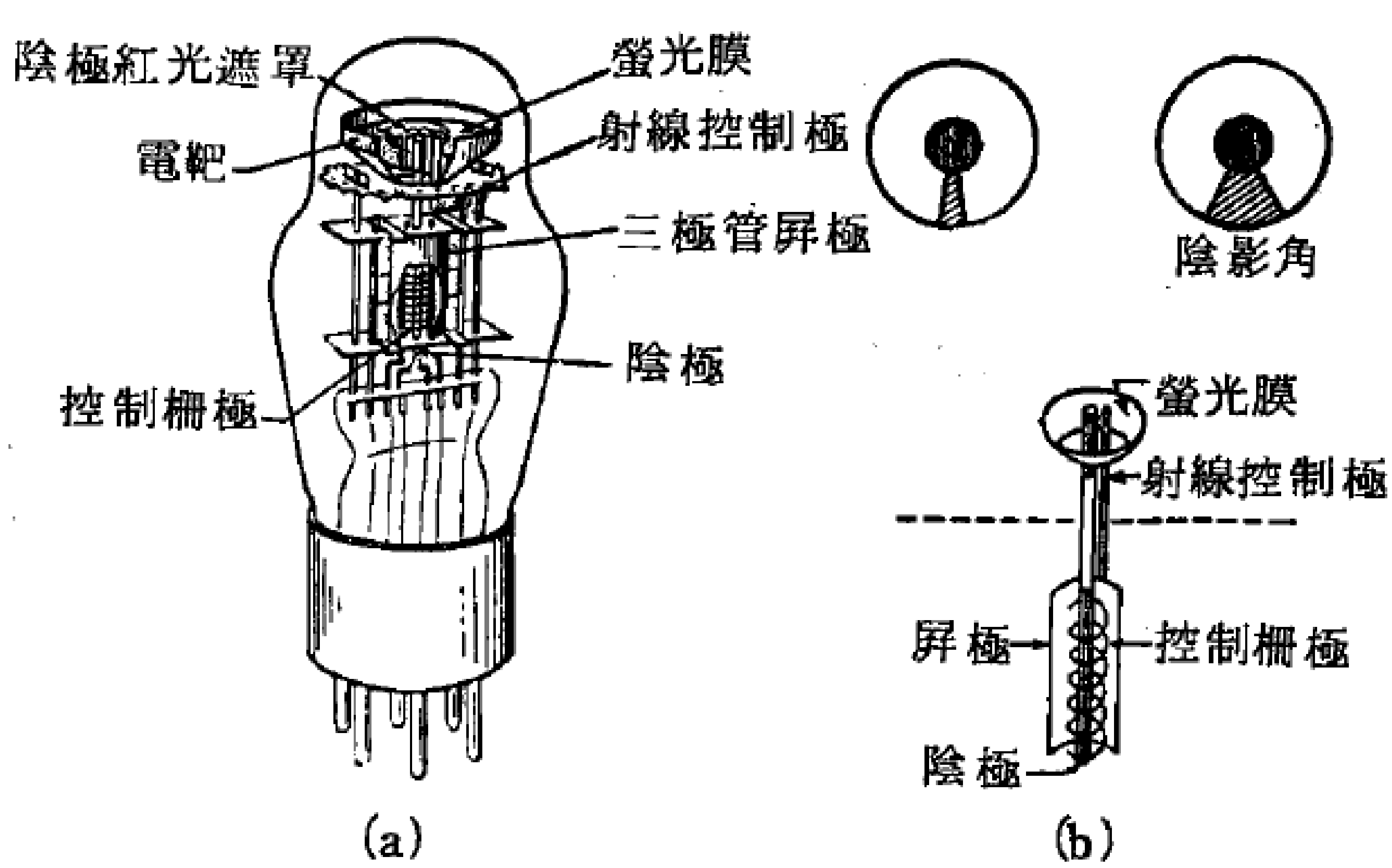


圖 13—188　電子射線管

電子射線管包括塗有螢光膜 (*fluoresent coating*) 的電

靶極（*target*），如圖 13— 188(*b*)之頂端，電靶極直接接在正高壓，由陰極放射的電子撞擊螢光幕發出綠色的光圈以指示控制電壓的大小。

電靶極的形狀如一漏斗，其內層螢光膜坡度過劇，從管的頂面看過去，光圈的面積將減小，如坡度過平，則陰極放射出來的電子撞擊螢光膜的距離近內圈部分較近，而外圈部分較遠，故光圈顯示甚不平均。

在電靶極與陰極置一個稱爲射線控制極（*ray-control electrode*）金屬片，係垂直於陰極面，此射線控制極與三極管的屏極相連，因此與屏極爲同電位，通常其電位較電靶爲低，於是電子通往電靶受到射線控制極所屏遮，射線控制極電力線擴散，螢光膜產生一陰影（*shadow*），射線控制極較電靶電位極負時，陰影擴展的角度約在 100°左右，射線控制極與電靶爲同位時，陰影角爲 0°。

此射線控制極的電位，取決於三極管部分的柵極電壓，如圖 13—188電路電靶極與屏極間置一負載電阻，當屏極電流通過電阻器時，其所產生一電壓降，卻控制射線控制極的電位。

當三極管的控制柵極電位趨向正時，屏流增加，射線控制極電位下降，此因電阻器電壓降增加之故，於是陰影角加寬，當三極管控制柵極電位趨向負時，屏流減低，射線控制極約與電靶爲同電位，陰影角則閉合。另一種指示用射線控制管爲 *6AF6G*，僅有電靶而無三極管部分，但包括兩個相對放置的射線控制極，因此必須外加放大管來控制，於是兩個對稱相對的陰影部分由兩個射線控制極共同連接來控制，如欲使指示兩種不同陰影圖樣，兩射線控制可分別由不同的電壓控制。

電子射線管在無線電接收機中，用以指示選擇電臺的靈敏度（*sensitivity*），以 A.V.C.電壓供給三極管的柵極。

【電子能帶光譜】（Electronic band spectra）

參閱"電子譜（*Electronic spectra*）"條。

【電子振盪器】(Electron oscillator)

赫茲(*Heinrich Hertz*)之實驗，乃以偶極子天線爲輻射源及接收器。今陳述偶極子發射的場(圖13—189)，在距偶極P處波前與波長相較則甚大(且偶極子之大小對共振而言，約爲一波長之半)，且具球表面的形狀。$\vec{E}$向量指向沿一大圓，$\vec{H}$向量則沿一子午圈。且產生一橫波；傳播方向$\vec{S}$在沿球面之一法線上，故亦垂直於$\vec{E}$及$\vec{H}$上。發射之輻射強度在所有方向中亦不相同：在偶極長度之方向中之強度爲零；而在此垂直方向中則爲極大。

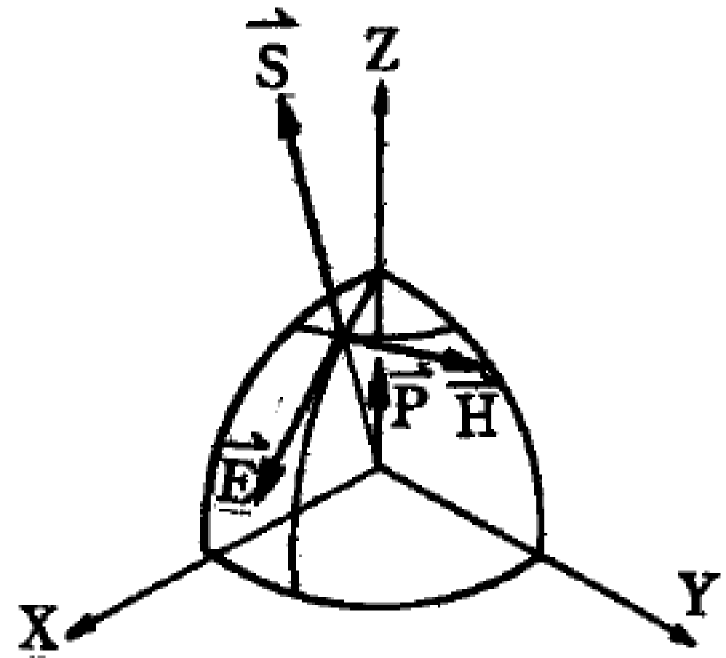


圖13—189　偶極子之場

依據羅倫茲(*Lorentz*)理想，可假定物質約由似偶極子的基素(*element*)製成，此等物質之光學性質可以說明。此種基素即振盪器(*oscillator*)。在十九世紀已發現其爲物質中之重要粒子即電子(*electron*)。電子甚小爲極輕的粒子，具有已知之固定負電荷。物質之整體一般爲電中性，故亦必須具正電荷。在金屬中，電子無論在何種物質中，均在固定的正核結構中自由運動。金屬的光學行爲就其強度吸著情形而言非常顯著。在非導體中，電子與核鍵結在最初的近似中，可設想此鍵結是有彈性的(猶如一彈簧拉得愈長，則用力愈多)。一彈性鍵結的電子稱之爲電子振盪器。電子振盪器(圖13—190)，在圖中畫做一負電荷在一彈簧之一端，而另一端則與物質之正格子(*positive lattice*)相聯結，若負荷有一推動，一衝量(*impulse*)乃依一平衡距離而振盪。但一運動電荷爲一電流，此種往返進行的電流即稱爲交流電(*alternating current*)。故這類的振盪器與赫茲的偶極子十分相似，且亦與爲此求場中之電流基素十分相像。當一電磁波例如光波抵達一振盪器，則此振盪器特別與波之$\vec{E}$向量作用，與赫茲偶極子實驗同。

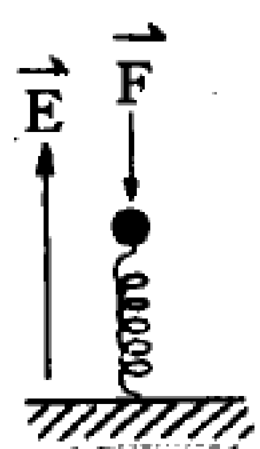


圖13—190
電子振盪器

因一電子振盪器具一負電荷，施於其上之力$\overrightarrow{F}$，其方向正與$\overrightarrow{E}$向量在此位置之瞬間值相反（圖 13 — 190 ）。光波之$\overrightarrow{E}$向量振盪非常快（務必記憶光速爲 5×10^{14} 赫茲的級）。 在光波影響下，此振盪器以相同頻率振動。我們對此等振動之振幅及相有興趣。振盪器之振幅在特殊頻率，即共振頻率上爲一極大，此頻率端視電子之質量及彈性鍵，或彈簧之強韌度而定；用赫茲偶極子早已遇見此種共振現象。關於振盪的相，須注意在一非常緩慢的變動場中振盪器能與變化並進時，相差將爲零。當場之頻率變高，即謂較共振頻率更高時，則振盪器落在相後半個振盪。於是與此場在反相（ *anti-phase* ）中， 即謂在場有一高峰時則振盪器在一低谷處。圍繞共振頻率之範圍內，振幅達其最大值，振盪器之相移後對場約爲一振盪的四分之一。振幅A及相φ的行爲在圖 13 — 191 中示明，其中V_0表示共振頻率。 質量及強韌均對振盪之惰性負責，可轉而決定共振頻率及相移後之位置。

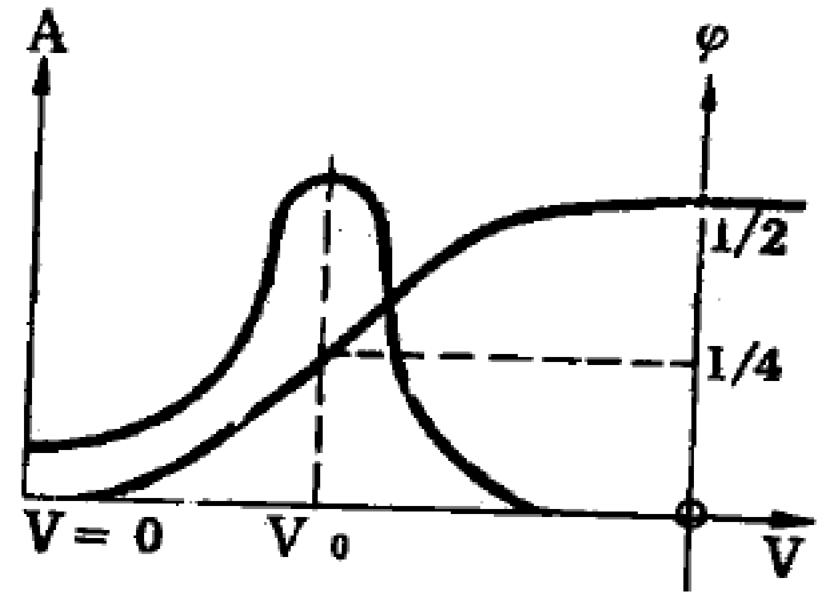


圖 13 — 191

振盪器之振幅及相乃頻率之函數

【電子倍增器】(Electron multiplier)

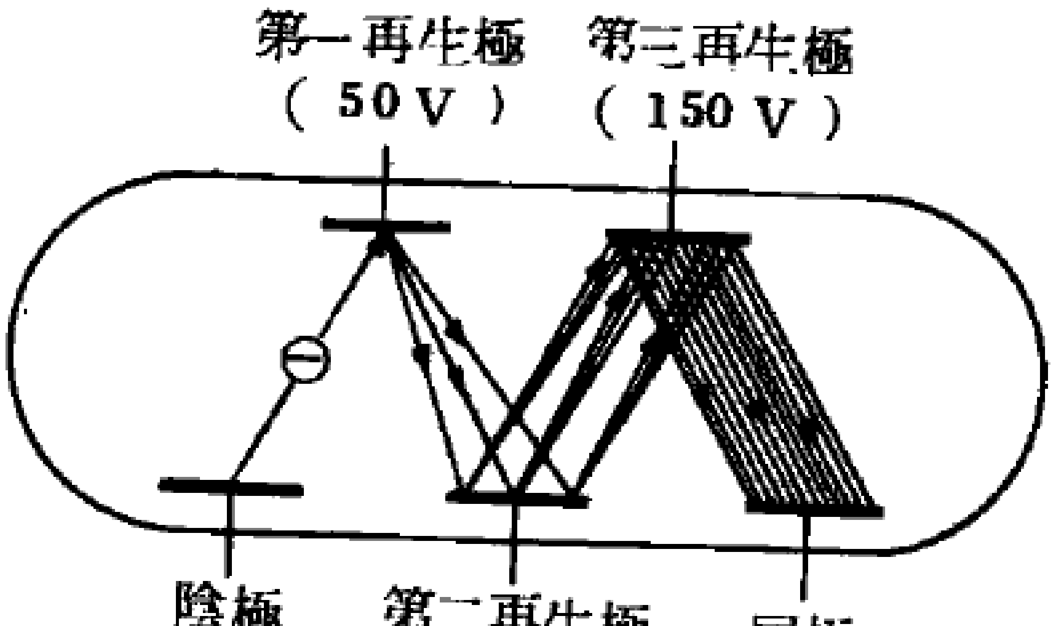


圖 13 — 192

由於二次發射之結果，陰極發射一個電子，到達屏極時，即有很多電子。

以利用二次放射（ *secondary emission* ）現象爲基礎而作成的放大光電流的儀器。爲了放大電子流，於是利用在合適的條件下，每個打到陽極表面的電子都可以從其中打出來數個（到十個）電子。這些“合適的條件”是在於陽極表面的適當加工和電子速度的正確選擇。這樣一來，由於二次放射的關係

，在陽極上就發生了電子數目的倍增與電子流的相應放大。這樣放大可以在好幾級內重覆地進行，其中每一級都有單獨的陽極，來自前一級的電子，在每個陽極上都加倍的進行著。如圖 13—192 所示。

【電子捕獲】(Electron capture)

一種放射衰變程式，在此種衰變中，原子核常自K或L層電子軌道上吸收一軌道電子，在此吸收過程中，質量數不變，而原子序減 1 。

【電子密度】(Electron density)

在電漿物理學家的許多應用上，電子的行爲差不多掩蓋了其他質點的行爲，因此，習慣上用電子來解釋在電漿裏所發生的事。而單位體積內所含的電子數稱之謂電子密度。

同樣地，離子數目表示離子密度，因爲每一個原子只喪失一個電子，所以離子數與電子數相等。正常的情形以 $n_e = n_i$ 來表示。

下表爲一些具有代表性的電子密度，可知電子密度在自然界及工程上的應用其值都非常大。

幾種代表性的電子密度

應　　　用	電子密度（電子數/立方厘米）
火箭排出的火焰	$10^6 \sim 10^{14}$
電漿體（*plasmoid*）	10^{12}
震波管（*shock wave tube*）	$10^{18} \sim 10^{22}$
核子融合實驗	$10^{13} \sim 10^{16}$
極光	$10^3 \sim 10^{12}$
太陽光圈	10^{12}
超聲波流體	$10^{16} \sim 10^{18}$
電漿弧噴射口	$10^{16} \sim 10^{18}$
電離層	$10^{16} \sim 10^{18}$

【電子偶】(Electron pair)

對含有N個電子的系統中，若無相互作用，我們可以波向量（*wave vector*）及自旋方向決定一個電子的狀態爲$\vec{k}\uparrow$或$\vec{k}\downarrow$，整個系統的狀態可以ϕ_s表示之，即

$$\phi_s \equiv \vec{k_1}\uparrow;\vec{k_2}\downarrow;\vec{k_3}\downarrow;\cdots;\vec{k_N}\uparrow$$

當電子有相互作用，$u=\sum_{n,m} U(\vec{r_n}-\vec{r_m})$ 式中每項都使兩個電子散射到ϕ_s所不包含的組態中。如果每項u的矩陣元素$\langle w|u|s\rangle$都相等，則我們很容易導出符合實驗的$B.C.S.$理論能隙。但因u不包含自旋運算，$\vec{k_1}\uparrow,\vec{k_2}\uparrow$不能被散射到$\vec{k_a}\uparrow,\vec{k_b}\uparrow$。而且矩陣元素亦可正可負，因爲若$\langle w|u|s\rangle$爲正，而$\phi_w=\vec{k_c}\uparrow;\vec{k_a}\downarrow;\vec{k_3}\downarrow\cdots$，$\phi_x=\vec{k_a}\downarrow;\vec{k_c}\uparrow;\vec{k_3}\downarrow\cdots=-\phi_v$，所以$\langle\phi_x|u|s\rangle=-\langle w|u|s\rangle$必爲正。因此在一個普遍性的空間$\{\phi_s\}$中，$u$的矩陣元素不可能完全相等。

若考慮一維空間，其中每一多體態是

$$\phi_A \equiv \vec{k_1}\uparrow;-\vec{k_1}\downarrow;\vec{k_2}\uparrow;-\vec{k_2}\downarrow;\cdots$$

亦即只要有一電子在$\vec{k_a}\uparrow$，必有另一電子在$-\vec{k_a}\downarrow$。在此假設下，$B.C.S.$理論便可產生。這個$\vec{k_a}\uparrow,-\vec{k_a}\downarrow$就是所謂的電子偶，又稱電子對。

電子偶之假設所產生的誤差只有$1/N$，N是電子數。

當然我們可以假設同自旋的電子對$\vec{k}\uparrow;-\vec{k}\uparrow$，可是它們會因交換能量而產生較高的能階。

【電子偶毀滅】（Electron pair annihilation）

一個粒子與其反粒子（*anti-particle*）可以結合而彼此消失或毀滅，其總能，包括它們的靜止能量，皆以另一形式的粒子復現，在這個過程中，須遵守幾個守恆律。例如，電子e^-與它的反粒子正子e^+，可以彼此毀滅而發射電磁輻射，這個過程叫做電子偶毀滅，其過程爲

$$e^- + e^+ \rightarrow \text{電磁輻射}$$

質子－反質子毀滅是一個更爲複雜的過程，此過程中包括數種粒子的產生，絕大多數都是π介子（*pion*）。圖13—193即示這種毀滅過程中的一對，其對應式爲

$$p^{+}+p^{-}\rightarrow 4\pi^{+}+4\pi^{-}+x\pi^{0}$$

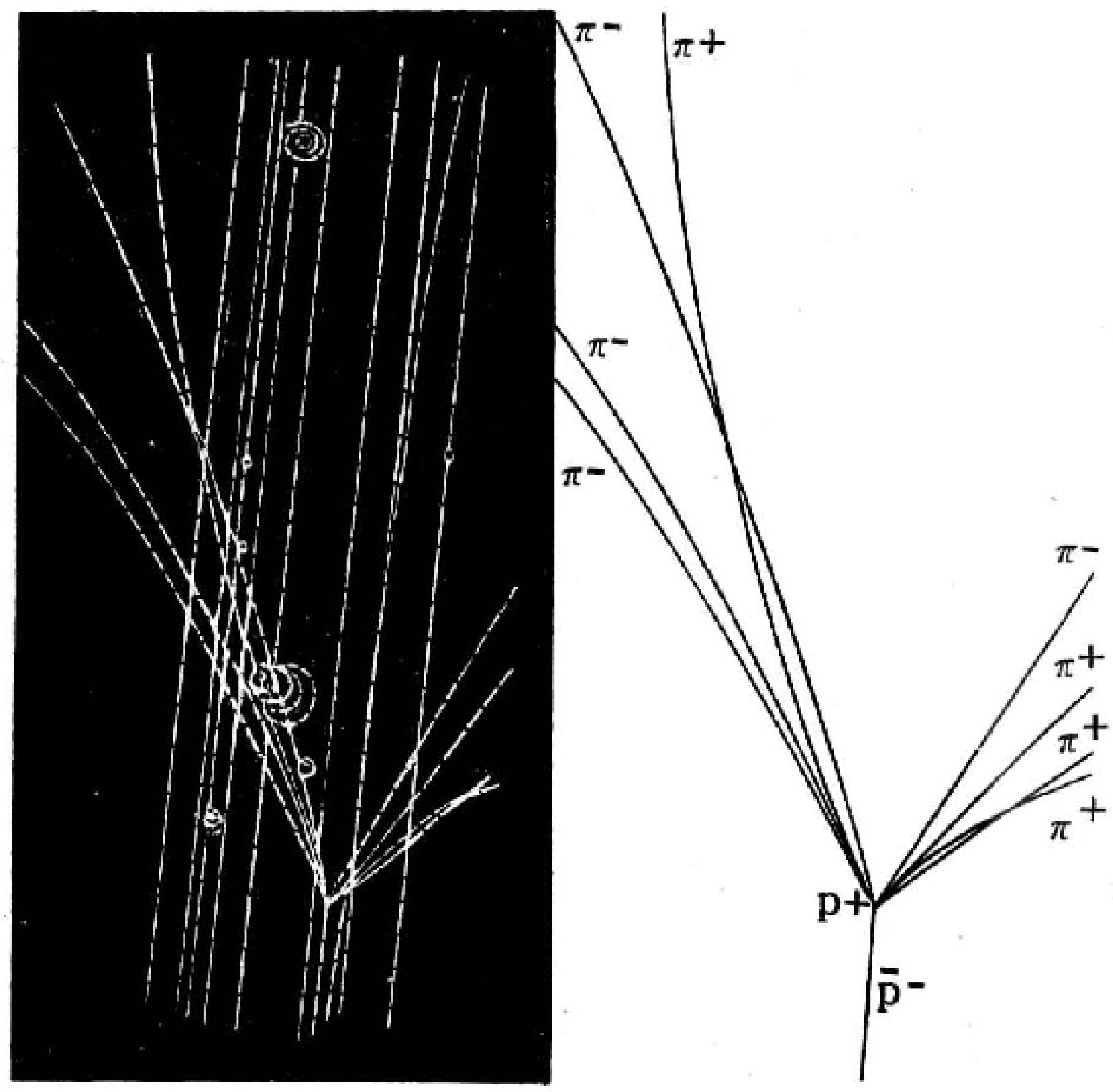


圖13—193　質子－反質子之毀滅

入射之反質子與氣泡計數腔中氣體內的一個質子相毀，如果電荷守恆的話，帶正電與帶負電之π介子數必須相同，所產生之π^{0}介子之數目很難確定，因爲在腔中並沒有留下任何痕跡。所產生的全部粒子數與能量有關。

【電子偶鍵】（Electron-pair bond）

在許多分子結構中最常見的現象。在這種結構中，兩個原子或原子核，由於共同擁有一對價電子而結合，形成一個非極性之鍵。

【電子排列的規則】（Hund's rule）

通常，原子中電子並不成對，而是平行自旋。若可能的話，此規則稱爲洪德原則。它們的3 *d*支殼層只是部分佔著，電子在這些支殼中並不成對分離，允許自旋磁動量彼此抵銷，此可由鐵、鈷和鎳的鐵磁性看出。例如鐵，六個3 *d*有五個電子是平行自旋，因此每個鐵原子有一大的總磁動量。

洪德原則基於原子的電子的互斥力，由於互斥，遠離原子的電子，

其能量較低。於同一支殼層的電子用同自旋一定有不同的m_l值。照波函數描述：其空間分佈則不同。平行自旋的電子，能量較少，因此比較穩定。

詳閱"電子結構原理（*Building-up principle*）"條。

【電子偏振性】（Electronic polarization）

一原子或離子之總偏振性常可分爲三種組成分：電子、離子與方位。電子之部分係因原子中電子對核之位移所引起；此即因電子殼對核所發生之變形。離子或原子，則係因一帶電離子對其它離子之位移或變形所引起。方位或偶極子偏振性之產生，須物質構成之分子有一永久電偶極矩，此偶極矩於置入一電場中時，可以有相當程度之自由變更方位。並有實驗方法可以分開各部分，其中之一法示於圖 13—194 中。通常之情況，在一相同物質中，離子部分與偶極子部分甚少可同時均呈顯著；在普通離子晶體中，並無偶極子之部分。

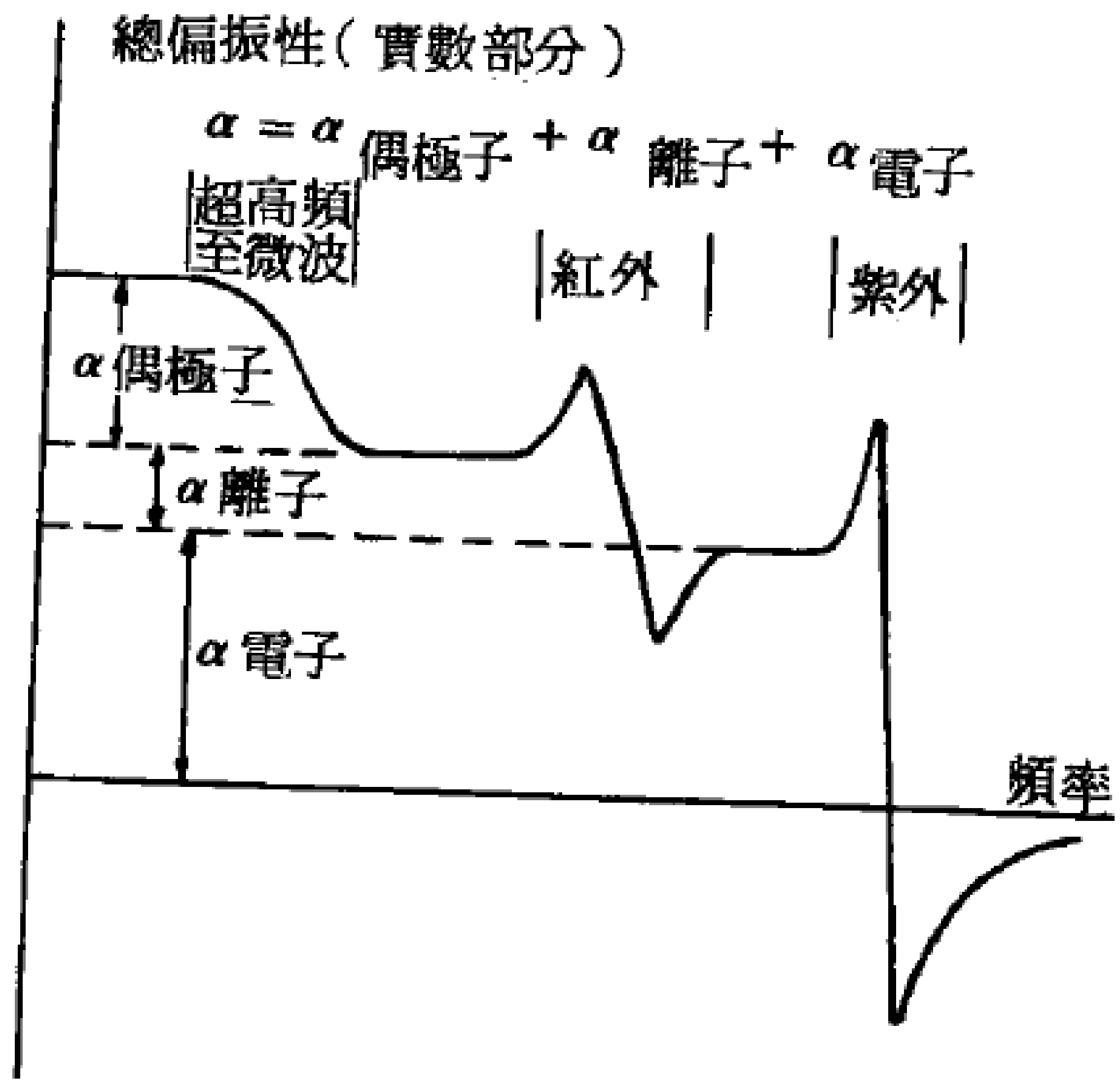


圖 13—194
偏振性各組成分與頻率之關係

在光頻率範圍，介質常數幾全爲電子偏振性所引起，故在光頻率範圍

$$\frac{n^2-1}{n^2+2}=\frac{4\pi}{3}\sum N_i\alpha_i \quad（電子者）$$

此處我們用$n^2=\varepsilon$之關係式，n爲折射率。用此關係式於大量晶體，可以決定電子偏振之經驗值，此與折射率的觀測值相當符合。

依照古典力學，一電子諧和縛著於一原子者，於頻率爲$\omega_0=(\beta/m)^{1/2}$時有共振吸收，β爲力常數。因加一電場E_{loc}所引起之平均電子

位移爲

$$eE_{loc} = \beta\bar{x} = m\omega_0{}^2\bar{x}$$

故靜電子偏振性爲

$$\alpha（電子者）= \frac{p}{E_{loc}} = \frac{e\bar{x}}{E_{loc}} = \frac{e^2}{m\omega_0{}^2}$$

電子偏振性將依據於頻率

$$\alpha（電子者）= \frac{e^2/m}{\omega_0{}^2 - \omega^2}$$

惟在可見光區，大多數介質之色散常不甚重要。

【電子組態】（ Electron configuration ）

量子力學中敍述，電子圍繞原子核有許多狀態，電子位於這些狀態的結構，有兩個基本原則：

1. 在一系統中，電子只在最低能量狀態，才能穩定。

2. 在原子中，一量子狀態只能有一個電子。

從量子力學上可得電子組態的量子數 n、l、m 及 s，分別代表主量子數、角動量量子數、角動量 z 方向分量量子數和自旋量子數。如若干電子具有相同的主量子數，便稱爲在相同的殼層上。通常殼層以 K、L、M…表示，其主量子數分別爲

$$\begin{array}{l} n = 1, 2, 3, 4, 5, \cdots \\ \quad\; K, L, M, N, O, \cdots \end{array}$$

在某特殊殼層的諸電子，其能量也因不同的軌道角動量量子數而異。對主量子數爲 n 的殼層，l 僅能有 $l = 0, 1, 2, \cdots, n-1$ 之值。對每一 l 值，有 $2l+1$ 個 m 值，即

$$m = l, l-1, \cdots, 1, 0, -1, \cdots, -l$$

由於電子有自旋，所以又有自旋量子數，$s = \pm\frac{1}{2}$，因此對一 l 量子數，m 與 s 的不同組合有 $2(2l+1)$ 個量子數，故對每一主量子數 n

，所有不同的組態數是

$$\sum_{l=0}^{l=n-1} 2(2l+1) = 2n^2$$

對於不同的 l 值，分別以 s 、p 、d 、f 、…表示，對應的 l 值為

$$l = 0, 1, 2, 3, 4, \cdots$$
$$s, p, d, f, g, \cdots$$

綜上所述，組態符號和數目列如下表：

K ：$1s^2$,

L ：$2s^2$, $2p^6$,

M ：$3s^2$, $3p^6$, $3d^{10}$

N ：$4s^2$, $4p^6$, $4d^{10}$, $4f^{14}$

O ：$5s^2$, $5p^6$, $5d^{10}$, $5f^{14}$, $5g^{18}$

舉例說明組態，例如 $3p^6$ 代表電子組態為 $l=1$ ，$n=3$ ，此組態可容納六個電子。原子中電子的能階順序為

$$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, 3d^{10}, 4p^6, 5s^2, \cdots$$

參閱"附錄"。

【電子屏蔽】(Screening of nuclear charge by electron)

原子光譜中之鹼金屬元素原子光譜，譜線頻率可用類似芮得柏公式(*Rydberg equation*)之數學式表示

$$\nu = R\left[\frac{1}{(n_1-d_1)^2} - \frac{1}{(n_2-d_2)^2}\right] \qquad (1)$$

d 稱為量子數欠缺(*quantum defect*)。在重元素的 x 光譜中，譜線頻率為

$$\nu = R\left[\frac{(Z-S_1)^2}{n_1^2} - \frac{(Z-S_2)^2}{n_2^2}\right] \qquad (2)$$

式中 S 稱為屏蔽常數(*screening constant; shielding constant*)。

量子數欠缺及屏蔽常數皆因在多電子原子中，電子所經驗之電場並非全係原子核的電場，而須另加其他電子的電場。在原子內層量子數較小之電子可減弱外層電子所經驗之電場，及其結合能量，即所謂之電子屏蔽效應。此種屏蔽效應的數學表示，可減少電子的量子數，如（1）式的量子數欠缺；亦可減少核之電荷，如（2）式的屏蔽常數。

【電子透鏡】（Electron lens）

一種與光學透鏡原理類似之電磁裝置，只是它僅用於對電子射束的反射和聚焦。電子透鏡包括一磁線圈和電極，適當的調節可以控制電子射束的行進。

參閱“電子槍（*Electron gun*）”條。

【電子雲】（Electron cloud）

原子由原子核和電子組成，原子的質量幾乎全部集中於原子核的極小體積中，原子核並帶正電Ze， 核外環繞著Z個電子在極大的原子範圍內（半徑約爲10^{-8} 厘米）運動，而成電子雲。由於電子是一種籠罩原子四周或然率的雲霧，故稱爲電子雲。在電子的振盪圖案中，人們發現它們能以相當簡單的方式解釋。對應於一種振動的能量，空間每一點上都有某些東西代表電子在該點的或然率。距原子核很遠的地方這數字幾乎等於零，意味著非常不可能在那裏發現電子；有些鄰近核的區域此或然率也是零，即電子無法造訪的區域。

【電子發光】（Electroluminescence）

在某種固體物質中，電能直接轉換爲光能的作用稱爲電子發光。這種程序最簡單的例子，是正向偏壓P－N接頭的作用。利用電子發光，從偏平板（*flat panel*）所放出的淡綠色光，常用在夜間照明或裝飾及儀器板等使用。通常這種裝置多將某種半導體粉末（多用硫化鋅ZnS）與塑膠相混合，而塗在兩電極之間（兩電極之一爲透明者），若在電極間加一電壓，攜電者就注入粉粒中，於是它們就在粉粒中發生復合躍

遷而放出光能。這些過程都與用 P - N 接頭時的情形相仿，然因每一個這種粉粒並非一個 P - N 接頭，故它們的效率不如 P - N 接頭那麼好，所以輸出的光能相當弱。

一般的電子發光板，通常均發綠光，這是因爲光線在這種波長時變換效率最高。但若選用適當的物質，使攜電者在復合躍遷時所放出的能量，相當於某種特殊的波長，它們也能放出紅、藍以及其他種種色光。若使用適當的混合粉末，則它們各別放出的光互相組合也能呈現白光。

【電子發射】(Electron emission)

管內一個電極所發射之電子，被另一個荷正電之電極所吸引，爲電子管工作之基本原理。電子管內尙有控制電子流之其他電極，用以獲得各種電子管所需要之工作特性。通常發射電子之極稱爲陰極 (*cathode*)。在某些電子管內有時稱爲燈絲 (*filament*)。

在愛廸生實驗中，電子之發射，係白熱燈燈絲發熱之結果，此種由陰極或燈絲發射電子之方法，只是很多發射電子方法中之一種，此外尙有很多發射電子之方法，目前已經在實際上使用。陰極發射電子之方法及其實際形狀，視電子管之程式而不同。

【電子殼層】(Electron shell)

電子在原子中的位置以能量的階層來表示時，可區分若干殼 (*shell*)，或稱之爲軌道 (*orbit*)，或以能階 (*energy level*) 來表示電子的位置。

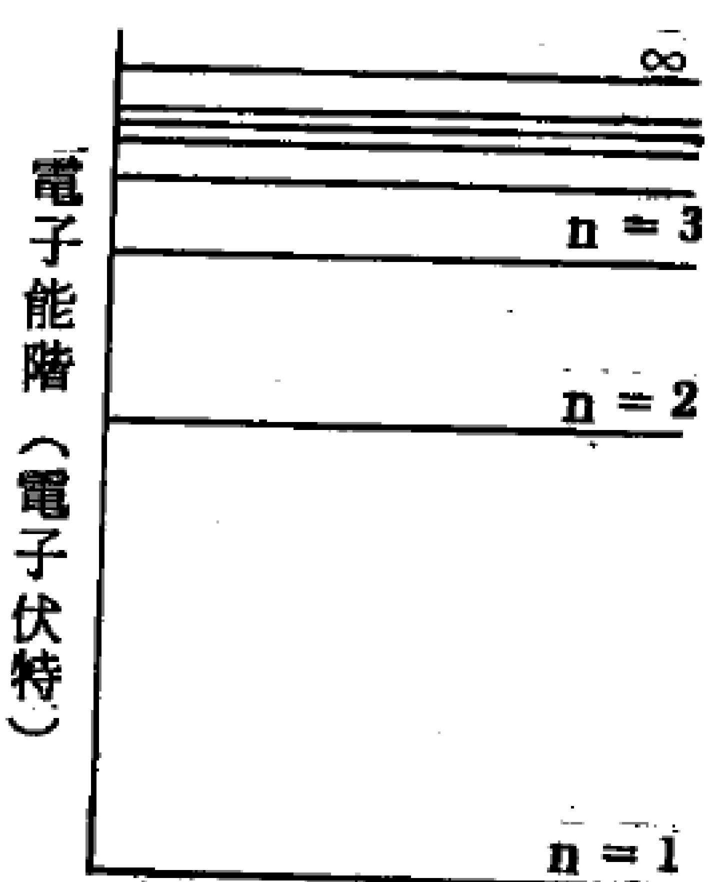


圖 13 — 195
原子之能階圖

電子在原子中的不同能階，可用一連串的水平線表示，如圖 13 — 195 。縱坐標表示電子之能量，單位電子伏特 (*eV*)，即電子擁有某一定能階。能階的分佈，水平線間隔表示電子跳出或跳入所要增加或放出的能量。最低能階稱爲電子第一狀態，即電子在內層軌道上的位

置，較高的能階依次分第二第三直至∞。

價電子區域的電子僅需最低能量可被移至最高的能階去，即電子產生導電。此價帶（ *valance band* ）的電子被移至高階能時，稱爲原子之被激（ *excited* ）。

假如價帶有足夠所加的能量使電子完全離開原子，這一進行就是游離。當游離（ *ionization* ）發生時，原子荷正電，謂之正離子。

原子中電子軌道分若干副層的關係如下：第一層（ *K*層 ），包括有兩個電子，爲最接近原子核的層，假如一原子之電子總數爲3，除2個電子佔第一層外，另一電子則必須到次一層（ *L* ）去。第二層（ *L*層 ），能擁有最多的電子爲8；第三層（ *M* ），最多爲18個電子；第四層（ *N* ），最多爲32。一原子最多層次爲7，此層次由元素之週期所決定。

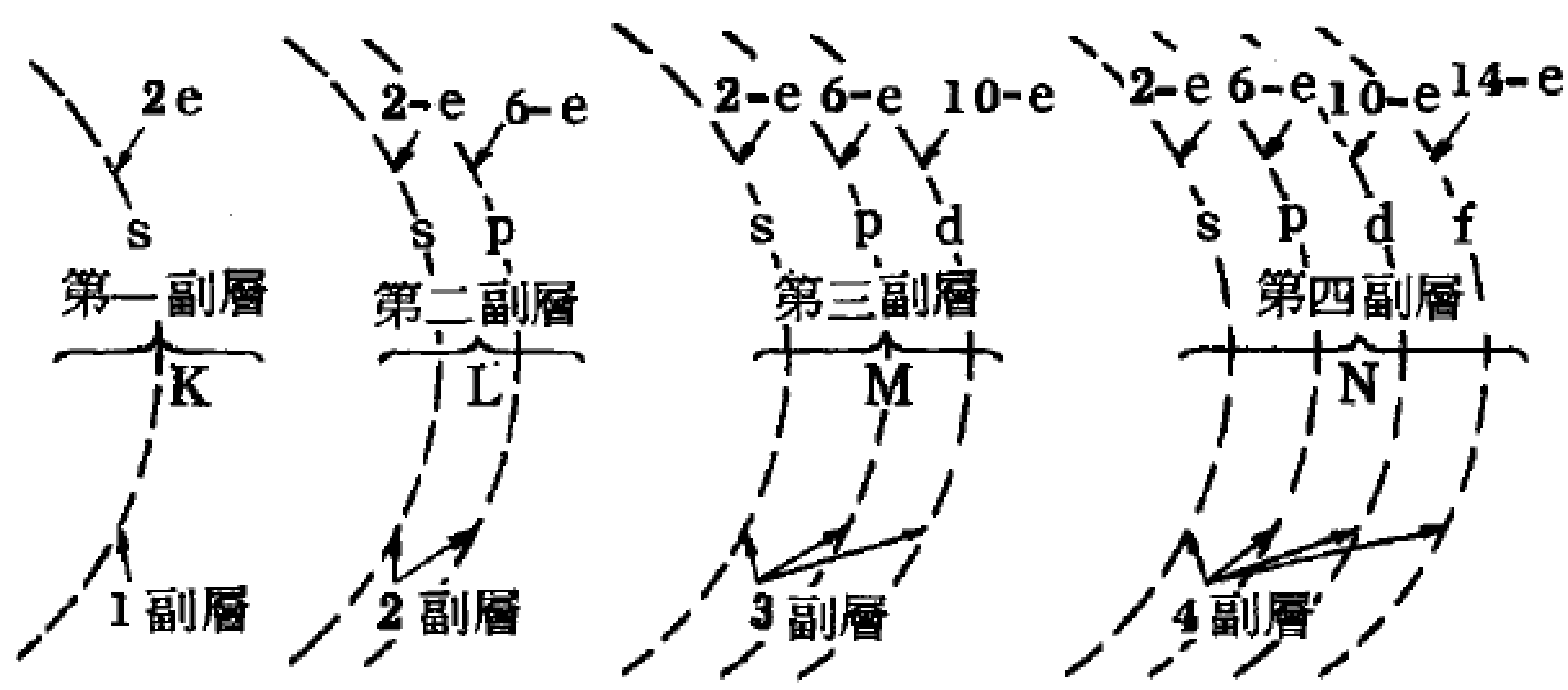


圖 13—196　電子在原子中之位置

每一層軌道又分爲若干副層（ *subshell* ）或稱之爲支殼層，第一副層 *s* 僅能包括兩個電子，第二副層 *p* 有6個電子，第三副層 *d* 有10個電子，第四副層 *f* 有14個電子，依次以符號 *s*，*p*，*d*，*f* 表示之，其副層及電子分佈情形如圖13—196所示。

第一層軌道（ *K*層 ）根據原子的電子排列僅有兩個電子，它佔據第一副層 *s* 。第二層軌道（ *L*層 ）擁有8個電子，2個電子佔據第 *s* 副層，餘6個電子佔滿副層 *p* 。

第三層軌道（ *M*層 ）共擁有18個電子，*s* 副層佔有2個電子，*p* 副層佔有6個電子，*d* 副層佔有10個電子，*s*，*p*，*d*，三個副層電

子的和爲18。第四層（N層）則依 s，p，d，f，次序類推。

例如：銅原子根據國際原子量表查得其原子序爲29，屬第四週期元素。則原子結構圖13—197所示，K層僅有s副層，佔有2個電子。L層有8個電子，2個電子佔據s副層，6個電子佔據p副層，無d層。M層共有18個電子，佔s副層2個電子，p副層僅6個電子，d副層佔10個電子，無f層。N層僅有一個電子，此一個電子佔據N層中第s副層，餘p，d及f空層無電子存在。

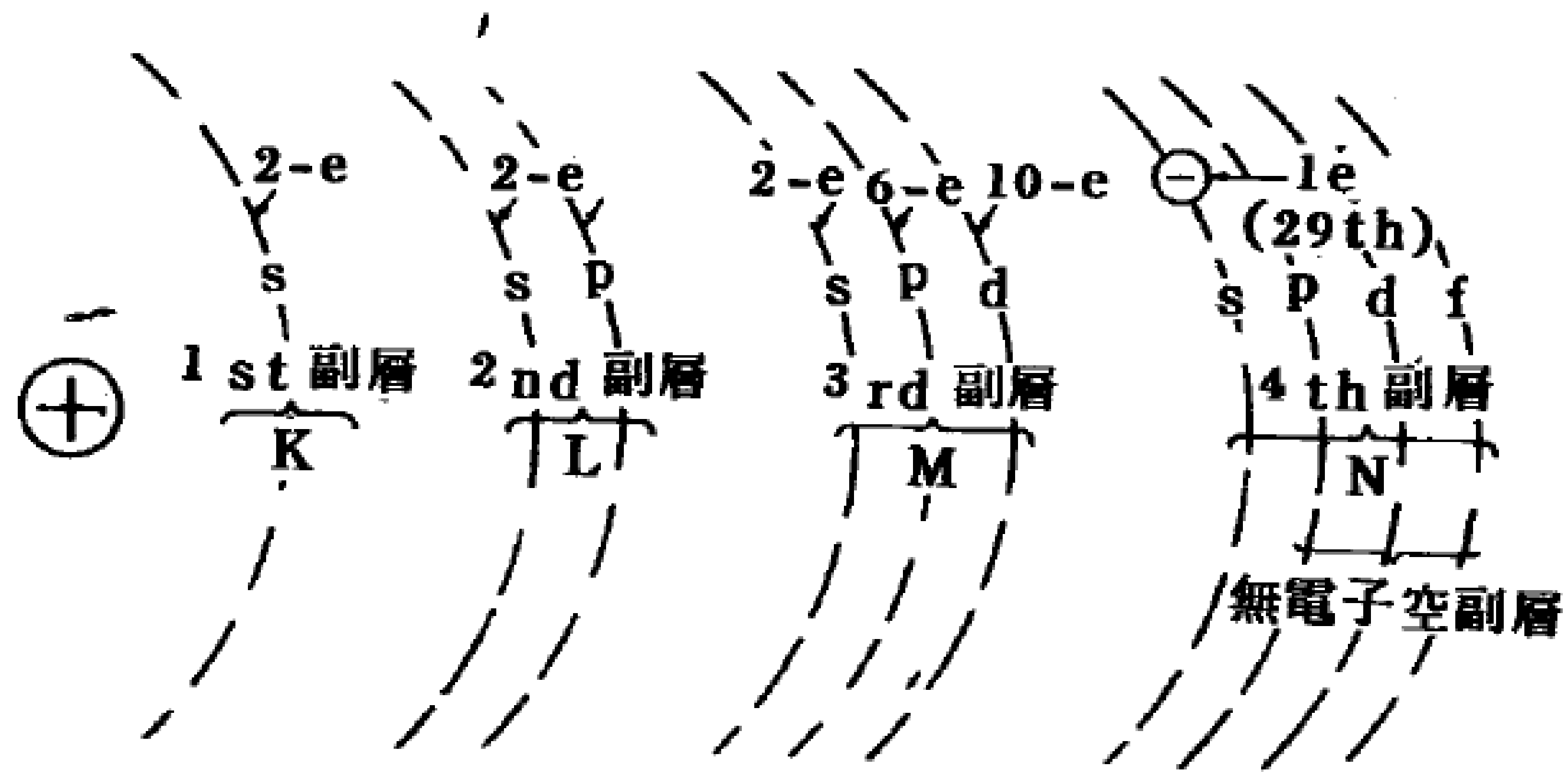


圖 13 — 197　銅原子之電子排列

此銅原子結構，其最外層僅有一個電子，副層中並未充滿電子，因離原子核距離最遠，最易受激到達導帶，故銅爲金屬元素中最易傳導電子。

因此爲一個原子構想其具有若干副層，每一副層電子對於原子核有不同的能量，故一原子的結構以能階方法來解釋時，可以設計含有非常多的能階。

在晶體結構中，電子間有相互的結合，也就是說一個電子移到另一個原子核去是不需要很大的能量，所以晶體內，原子間能階關係是連續的，因此成爲能量帶域。較低的能帶中全爲電子所充滿；較高的能帶無電子存在者稱之爲導帶。價帶與導帶間無能量區域稱之爲禁區能隙。

此說明原子特性，其所具的能量，在某一定值時獲得穩定，即愈近原子核的層電子先被充滿是最穩定的狀態，也就是最外層的副層中電子容易受能量的激勵，而受激狀態須視其能階而定。

【電子過渡時間】(Transit time of electron)

電子從電子管陰極飛到屏極所耗用的時間。如果電子的過渡時間與電子管上高頻控制電壓的週期可以相比較，則這個時間對管子的工作就會有十分重要的影響。在普通電子管內，電子過渡時間約為 1×10^{-8} 秒，若與微波波段的振盪週期相比較時，這就使得普通電子管不能用於微波波段。

【電子結構原理】(Building-up principle)

在多電子系統能量最低的基態中，電子的分佈形式或電子組態常依電子結構原理而定，電子結構原理包括下列數項：

1. 電子軌道的順序——系統中電子軌道的能量需以理論或實驗方法決定。例如原子中電子軌道的順序依次為 $1s$，$2s$，$2p$，$3s$，$3p$，$4s$，$3d$，$4p$ 等等。

2. 庖立不相容原理 (*Pauli's exclusion principle*)——每一電子軌道中，最多只能容納兩個電子。

若已知系統中電子軌道的能量順序，即可依其能量由低而高，在每個電子軌道中填入兩個電子，至所有電子填完為止，即得系統的基態。但若最後填入的軌道為多重 (*multiplet*) 軌道，且電子數目不足完全填滿所有的多重軌道時，洪德定則可決定能量最低的電子組態。

3. 洪德定則 (*Hund's rule*)——數個電子在一組多重軌道中分配時，有最高多重性 (*multiplicity*) 或總自旋量子數 S 最大的狀態最為穩定。因各電子的自旋儘可能相同，故使電子儘可能佔有不同的電子軌道而令其拒斥能減至最小。

利用電子結構原理可圓滿解釋元素的週期性，分子及金屬晶體、絕緣體及半導體中電子的結構及其各種物理、化學性質。

【電子順磁共振】(Electron paramagnetic resonance)

若一電子具有角動量 J，則其磁矩為

$$\vec{\mu} = -ge\vec{J}/2m$$

式中g是蘭德g值，e是電子電荷，m是電子質量。若置於磁場中，由古典力學可知，磁矩將繞著磁場$\vec{B}$旋進（*precession*），其能量爲

$$E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

令B的方向爲Z軸方向

$$E = -\mu_z B = g\,(e/2m)\,J_z B \qquad (1)$$

由量子力學，J_z的大小是量子化者，其可能值僅爲

$$J,\ J-1,\ \cdots -J$$

於是由（1）式可知，能量也被量子化，能階與能階的間隔是

$$\triangle E = g\,\frac{e}{2m}\,B\hbar$$

所以欲使電子由一能階跳到次高能階，必須加給此能量，此能量若爲光子所供給，則

$$\hbar\omega = g\,\frac{e}{2m}\,B\hbar$$

卽光子的頻率$\omega = g\,\dfrac{e}{2m}\,B$。有此頻率之光子可由另一振動的磁場所供給，當其振動頻率爲ω時，電子由一能階跳至次高能階的躍遷機率最大，這就稱爲電子順磁共振，是1944年所發現。

電子順磁共振自發現之後，就成了非常重要的物理研究工具。它解釋晶格的細結構，測定在磁場內離子晶體的能階，此外尚可用以研究晶體結構的缺陷，以及在金屬和半導體內許多導電子的重要現象。在化學及生物上用之做結構及分析的研究，也是甚爲有力的工具。

【電子開關】（Electronic switch）

在某些無線電設備中，常需一種動作非常迅速、定時非常準確的開關，以選擇或控制其輸入、輸出訊號。在此種情況下，繼電器、整流子及其他機械開關都不適用，只有利用某種電子管電路才能滿足要求，這

種裝置就叫電子開關。電子開關的動作旣準且快，當用以控制電路時，通、斷一次，只要幾分之一微秒到幾微秒。因此，常用在雷達及電視技術中。

【電子極化率】（Electronic polarizability）

當一電介質受外加電場作用時，其內部的原子即被極化。若某一原子所受的局部電場爲E_{loc}，雙極矩爲p，則極化率α定義爲

$$\alpha = p / E_{loc}$$

由定義可知，α僅與單一原子或離子的性質有關，與物質整體的性質（如原子如何排列等）無關。

α通常可分爲電子、離子及雙極極化率三部分。電子極化率產生的原因是原子外圍的電子雲受電場影響，整個對原子核有一位移，而產生雙極矩。

古典學說認爲電子在原子內作簡諧運動，位移與所施的力eE_{loc}成正比

$$eE_{loc} = \beta x = m\ddot{x}$$

解得電子以頻率$\omega_0 = (\beta / m)^{1/2}$振盪

$$eE_{loc} = \beta x = m\omega_0^2 x$$

於是電子極化率爲

$$\alpha = p / E_{loc} = ex / E_{loc} = e^2 / m\omega_0^2$$

若局部電場爲一頻率爲ω的振盪電場，則方程式爲

$$m\ddot{x} + m\omega_0^2 x = e E_{loc} \sin\omega t$$

令$x = x_0 \sin\omega t$代入得

$$m(-\omega^2 + \omega_0^2) x_0 = eE_{loc}$$

$$p = ex = \frac{e^2 E_{loc} \sin\omega t}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

$$\alpha = \frac{e^2 / m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

在 $\omega=\omega_0$ 時產生共振， α 值非常大。在量子論裏，亦可得一類似公式

$$\alpha=\frac{e^2}{m}\sum_j\frac{f_{ij}}{\omega_{ij}{}^2-\omega^2}$$

f_{ij} 是電雙極在兩狀態 i 、 j 躍遷的振子強度。 $\hbar\omega_{ij}=\epsilon_j-\epsilon_i$ ， ϵ_i 及 ϵ_j 分別爲 i 、 j 二態的能量。

【電子運動】(Electronic motion)

電池的兩極用導線連起來時，電流就經導線自陽極流向陰極。這是由於作爲導線的金屬中，有脫離原子而可自由移動的電子（即自由電子），由陰極向陽極移動的關係，此即電子運動。

【電子電路之零件】(Elements of electronic circuit)

電子電路之基本型式有三種，即整流器、放大器和振盪器。但實際上，電子電路中僅有六種通用型式的零件，即電阻器、電容器、線圈（電感器）、變壓器、開關和眞空管。如圖13—198所示。

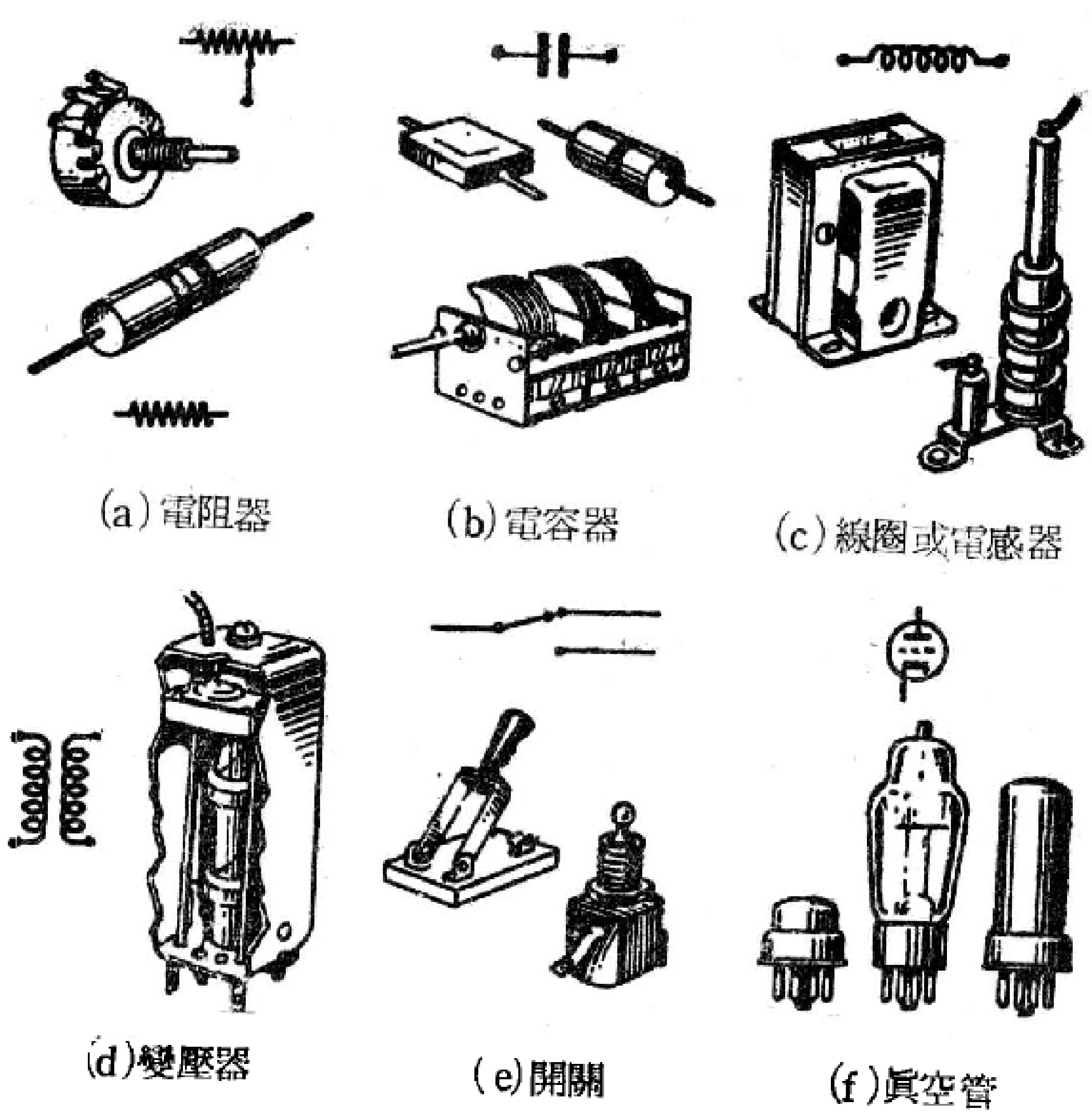


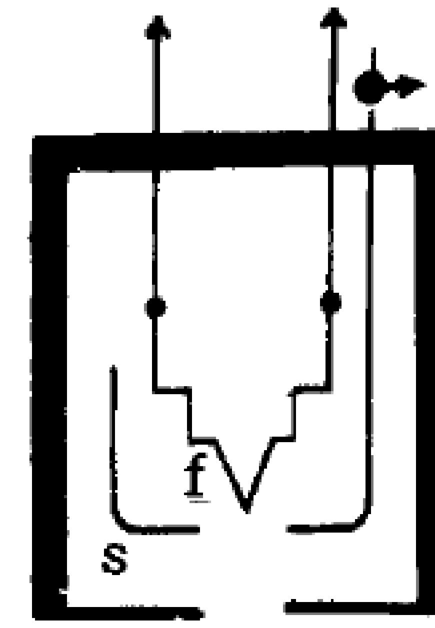
圖 13—198 電子電路之零件

【電子槍】(Electron gun)

電子供應源不可或缺的條件爲體積要小、力量要強而發射電子要均勻。電子槍具有燈絲（ *filament* ）、燈絲隔離套（ *shield* ）及陽極（ *anode* ）等三種組件，如圖 13—199

所示。

1.燈絲——燈絲亦名陰極（*cathode*）或電子發射體（*emitter*），爲一熱陰極（*hot cathode*），由純鎢絲(*tungsten filament*)製成，成V字形，其直徑約0.1 mm，即4密爾（*mil*），能被加熱到白熾狀態。當通以最大電流時，其熱度最高部分，即成爲一有效的電子源。若使電子從一孔口中發射而出，再加上聚焦系統，則電子即被集中成束，而能用以照射透視物。



a 陽極
f 燈絲
s 燈絲隔離套

圖13—199 電子槍

品質好的熱放射物質，要具有兩項特性：(1)爲功函數（*work function*）須低，以便有豐盛的電子供應能力。(2)爲壽命要長，即必須避免氧化與汽化(*vaporization*)。在熱度正常的工作狀況下，要能有足夠滿意的電子發射而其氧化程度則必須小到可以忽略。

下表中所列爲常用的發射電子物質，其中以鎢爲最適於熱放射的物質，因鎢在所有金屬中的熔點最高，雖然其功函數較高，但在其熔點溫度以下仍有豐盛的電子供應量。可是，即使強如鎢絲，當其在眞空中的工作溫度接近到熔點時，仍舊會汽化，因此被用作燈絲時的平均壽命只有10～20小時。鎢絲的另一優點，爲受殘餘空氣的作用並不嚴重。至於其他塗氧化物的陰極，則極易因微量的殘餘空氣，而使顯微鏡發生汚染(*contamination*)，以致失去功能。

物質	功函數（伏特）	熔點（絕對溫度）	工作溫度（絕對溫度）	適用於電子顯微鏡的程度
鈉	1.9	—	—	鹼類及鹼土屬物質，其功函數雖低，但在極低溫度時即發生汽化，而不適用爲熱離
鈣	2.5	—	—	
鋇	2.0	—	—	

				子放射體。
塗釷鎢絲	2.6	—	1,900°	雖可用，但易爲殘餘氣體的作用而發生污染，失去作用。
塗氧化鎳	0.5～1.5	—	1,000°	雖可用，但易爲殘餘氣體的作用而發生污染，失去作用。
鉭	4.1	3,123°	—	可　　用
鎢	4.5	3,643°	2,400°	最爲適用

2.燈絲隔離套——燈絲隔離套又稱聚焦電極（*focusing electrode*）或陰極隔離（*cathode shield*）。爲緊靠於燈絲前面的開口圓柱體（*cylinder*）。其作用爲使燈絲在未用隔離套時所正常發射的電子密度，構成一細小的供應源，以減小高壓對整個燈絲的負荷（*load*）。

3.陽極——陽極亦稱正極（*positive electrode*）。它和顯微鏡的某些部分一樣接於接地（*grounded*）的零電位，但對陰極而言，它是在正電位上。陽極爲一開孔的圓盤狀金屬體，與陰極置於同心軸線上，發射的電子，由於陽極與陰極空間的電位差而被加速（*accelerate*）。電子離開電子槍以後，便成爲一恆速的電子束。

陽極能吸引電子發射體周圍空間的電子，因此可以免除燈絲周圍積聚過多的電子而阻礙燈絲繼續發射電子。

4.偏壓——所有電子槍的燈絲加熱電流，都是由交流電源供應。電子槍加速電位差的聯接方法有二。

(1)爲無偏壓制（*nonbiased system*）法如圖13—200(*a*)，爲早期製造電子顯微鏡所用的標準聯接法。其燈絲及隔離套的聯接，都通過一對平衡電阻器*r*而直接接到高壓電源*hv*的負極，引線*f*線於加熱電源上。此法使燈絲尖端及隔離套都在交流電加熱的全部頻率交變中，保持相同的電位，而在電性上形同一個電極。接近燈絲的隔離套小孔，其表面得以呈等電位性，以任聚焦或聚合式透鏡（*converging lens*）的工作，如圖13—200(*b*)所示，即爲聚合式電子槍電場的等電位作用。聚焦作用可藉校正（*adjusting*）燈絲及隔離套孔口間沿光軸之距離而控制之。

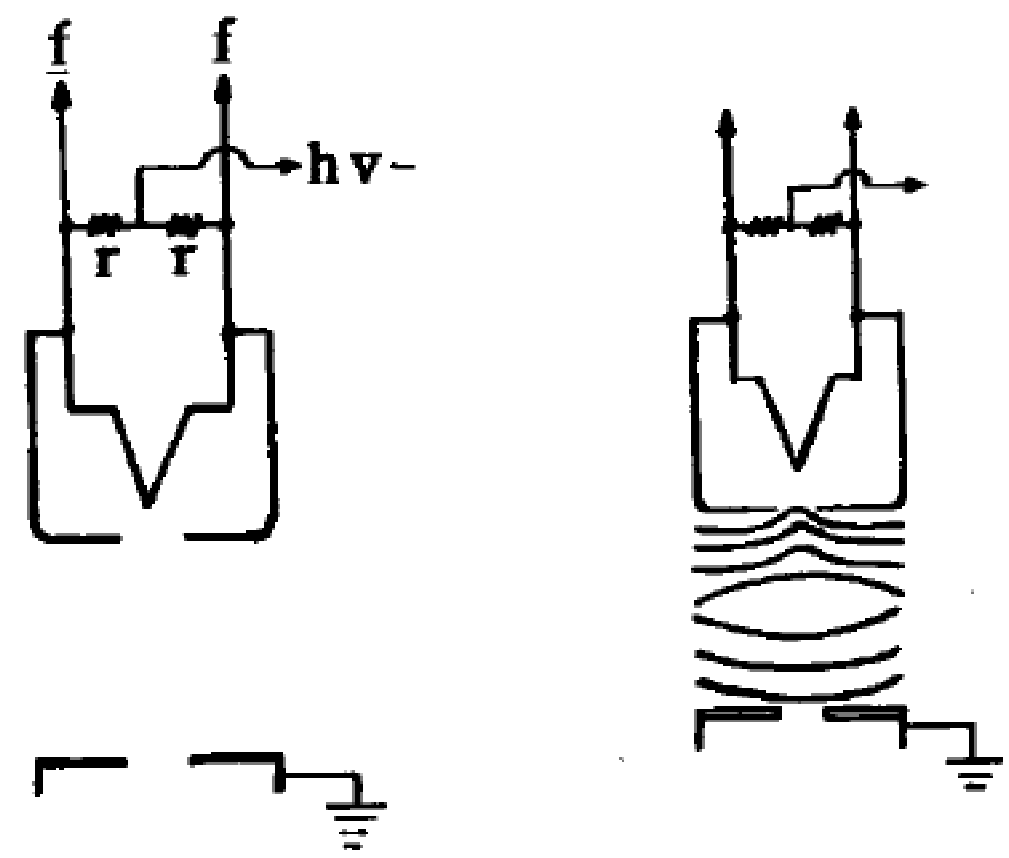


圖 13—200

(2)自生偏壓制（*self-biased system*）法，其燈絲的接法，是經過一只電阻器而接於高壓的負極。同時，隔離套則不經電阻器而直接接於高壓的負極。當顯微鏡於校正妥當而工作時，其燈絲與隔離套之間，由於電阻器上電壓降的關係，它們的電位彼此不同。這跨於電阻器上的電壓降卽稱爲偏壓（*bias*），約達200伏特。燈絲發射的電子流於是比隔離罩具有更負的電位。這一負性電場，能使陽極的正電場從燈絲吸取電子的力量受到控制。偏壓電阻器雖然對於燈絲釋放電子的多少不起作用，但卻能影響通過陽極孔口射向聚焦透鏡（*covergent lens*）的電子發射量，這些電子卽爲透射影像組織的照射能源。

無偏壓制與偏壓制電子槍的主要不同處，爲後者由隔離套形成的負性電場，在電子流受陽極吸引的要途中，造成一燈絲與隔離套間的電位差，使燈絲周圍的電子雲（*electron cloud*）卽所謂空間電荷（*space*

charge ），取燈絲尖端電子發射表面的地位而代之。負性的偏壓代替了空間電荷的一部分作用，從而減少一部分通過燈絲的電流，如此使均勻的空間電荷取代了燈絲表面不均勻的電子供應。

相反地，在無偏壓制的電子槍工作狀況中，會發生飽和放射（*saturated emission* ）的狀態。在飽和放射的情況下，必須提高燈絲的溫度以增加電子放射到空間電荷受到限制爲止。此時，由於電子的發射愈多，燈絲的正性電位愈來愈高，於是由燈絲發射進入空間電子雲中的電子，和被燈絲吸回去的電子相等。

由於從陰極放射出的電子束非常的粗，用此束以顯電壓（或電流）及電視圖像等的效果並不理想，所以用電子槍不僅只放射電子，並使放射的電子聚焦成一非常細之束，此束打在螢光屏上，就能呈現一光亮而又小的點。靜電偏向式的電子槍（圖 13 — 201 ）中包含有間熱式陰極、控制柵、加速極（*accelerating electrode* ）、聚焦極（*focusing anode* ）及再加速極（*final accelerating electrode* ）各一。這些電極均成圓筒形，並有導線從底座引出。

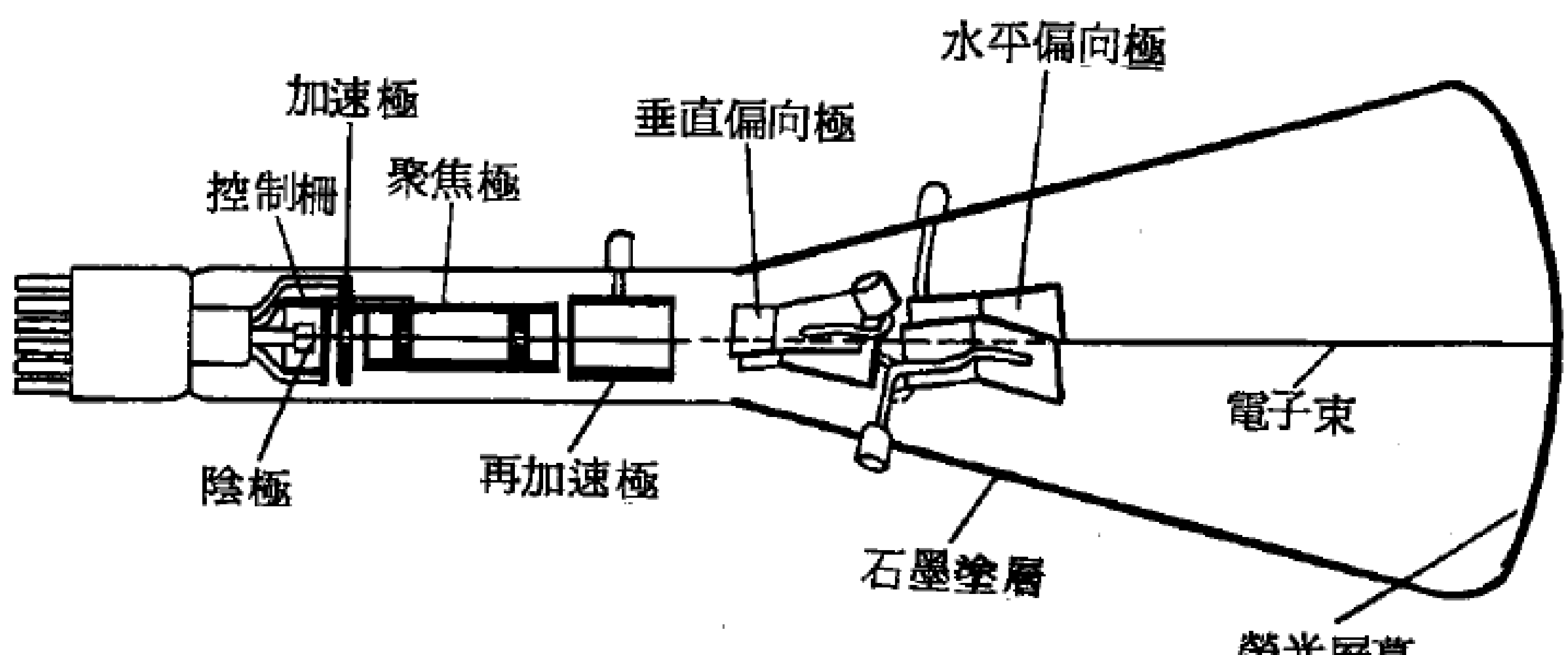


圖 13 — 201　靜電偏向式陰極射線管的結構

陰極射線中陰極、控制柵及加速柵的作用，與一般四極管及五極管所具陰極、控制柵的作用相同。陰極所放射的電子，受帶偏壓的控制柵所控制，帶正電壓的簾柵可使電子速度增加。

當電子通過加速極的小孔後，受聚焦極與再加速極的共同作用，使這些電子聚焦成一非常細的電子束。使電子聚焦成束的裝置，就稱爲複式電子透鏡系統（*multiple electronic lens system*）。聚焦極與再加速極的電壓均爲正電壓。但聚焦極的電壓比加速極爲低。

在聚焦極與再加速極間的聚焦作用。由於兩極間有電位差存在，所以在兩極之間形成一強靜電場，其輻射式場電力線，從聚焦極指向再加速極。電子群在進入此透鏡系統前，已經在控制柵附近的交越點（*crossover*），受控制柵的小孔，及其偏壓的影響，開始分散，當電子群再經過輻射式的場電力線後，就聚焦成束。

電子在電場中均沿場電力線的方向運動，當此陰極射線電子進入聚焦極與再加速極間的電場後，也企圖沿場電力線運行。由於電子受加速極的作用，具有高速度，通過此電場的時間很短，因此受場電力線的影響後，向切場電力線的方向運動，最後收斂成一細小的束。

電場的輻射式場電力線，只有足夠的力，使電子群形成一個束，而不能將電子推向電極的一邊。由於電極都是圓筒對稱形，任何一個方向均有相同的輻射場電力線，其以圍繞管外頸部的聚焦線圈所造成的磁場達成。

【電子態】（Electronic state）

電子態是指原子中的電子所處的物理狀態。根據量子理論，原子中的電子態可由 n（主量子數）、l（軌道角動量量子數）、m_l（磁量子數）及 m_s（磁自旋量子數）四量子數，或 n、l、j（總角動量量子數）及 m_j（總磁角動量量子數）四量子數決定。

1925 年，庖立（*Pauli*）提出不相容原理（*exclusion principle*），認爲原子中的電子不能具有同一的電子態。也就是說，不同的電子在原子中不能同時有相同的 n、l、m_l 及 m_s 或 n、l、j 及 m_j 值。

相同 n 值的電子組成一殼層（*shell*），或稱能階（*energy shell*

)。同 n 值的電子再依 l 值的不同又分成若干組，凡具有相同 n 值及相同 l 值的電子，稱為支殼層（ *subshell* ）， 或支能階。同位於一支能階的電子又都具有不同的 m_l 或 m_s 值。這些電子組成原子。

【電子管】(Electron tube)

這種器材其中的電流是由一股自由飛行的電子組成的，並且利用專門的電極控制著這個電流的大小。任何電子管都是內部為高度眞空的玻璃容器或金屬容器（在某些現代化電子管中，容器是用金屬與陶瓷相結合而製成的）。有些管子內，例如充氣二極管、閘流管等，特地裝入不多的氣體。電子管中的電子源是灼熱了的陰極，由於熱電子放射而放出電子。在最簡單的二極電子管內，除了陰極以外，只有一個電極即屏極。這是一整塊金屬片，作成圓筒形或長方小匣，覆罩著陰極。如果在陰極和屏極之間接入電壓電源，其正極接於屏極，則在電子管內，在陰極和屏極之間將有電場存在，其方向是從陰極到屏極。從陰極飛出的電子在這個電場的作用下，便加速地向屏極運動，並落於其上。從陰極向屏極運動的電子將建立起屏極電流，其大小決定於被屏極電場所捕獲並參加形成屏極電流的電子數。當屏極電壓很小的時候，從陰極飛出的電子中，只有一個不大的部分被屏極電場所捕獲，其餘的便在陰極周圍形成電子雲。

隨著屏極電壓的增長，被屏極電場所捕獲的電子數也就多起來，同時屏極電流也增大了（這時電子雲的密度就減小了）。不過當屏極電壓大到某個程度，以至從陰極發出的全部電子都立即被屏極電場所捕獲，則屏極電流便不再繼續增長，而形成飽和電流（ *saturated current* ）。

如果加於二極管屏極的電壓不是正的，而是負的，則電子將不為屏極所吸引，電子管內就不會發生電流，所以二極管具有單向導電性。二極管作為檢波器與整流器或二極整流管而應用，便是以此為基礎。

在三極管內，在陰極與屏極之間裝有第三個電極，即柵極（柵網或

螺旋線），電子可以從它穿過。倘若在柵極與陰極之間接入一個電壓，則在管子內，在柵極與陰極之間便發生一個電場。此外，在一定程度上還有屏極電場透過柵極的小孔，這兩個電場在陰極附近便互相併合起來，於是被捕獲的電子數，也就是說屏極電流的大小，就決定於這個合成電場的大小。當柵極上的正電壓升高時，控制電場將要增大，同時屏極電流也就要增大，一直到飽和爲止。相反的，當柵極上的負電壓增加時，這個控制電場就會減弱，屏極電流便將減少。這樣一來，柵極就可以用來控制屏極電流的強度。並且因爲柵極電場是完全地到達屏極，而屏極電場則只是部分地穿過柵極而趨於陰極，所以柵極電壓的變化比屏極電壓的變化更強烈地影響到控制電壓的大小，也就是更強烈地影響到屏極電流的強度。正是這樣一些特性使得電子管可以用來作放大和振盪。電子管的其他一切應用也都是以上述各項特性爲基礎，特別是以加至柵極的電壓能夠控制屏極電流這一特性爲基礎。並且因爲屏極電流是依賴屏壓電源所送出的能量而得以維持，柵極上的電壓則只是用來對屏極電流進行控制，所以從原理上說，進行這種控制時可以不消耗功率（實際上在柵極電路中仍然要消耗一些比較不大的功率）。同時，電子管就是一個動作十分迅速而且很靈敏的控制電流之繼電器（*relay*），也唯其是作爲這種繼電器，電子得以應用在各種各樣不同的裝置裏。

電子管的種類繁多，比較通用的有：交流管（*A.C. tube*）、束射管（*beam power tube*）、陰極射線管（*cathode ray tube*）、陰極管（*cathode tube*）、雙柵管（*double grid tube ; dual grid tube*）、五極管（*pentode*）、四極管（*tetrode*）、高度眞空管（*hard tube*）、高放大係數管（*high mu tube*）、低放大係數管（*low mu tube*）、五柵管（*penta grid tube*）、強力管或稱功率管（*power tube*）、簾柵管（*screen grid tube*）、特式眞空管（*special type tube*）、超控制管（*super control tube*）、三極管（*triode*）

、三柵管（*triple grid tube*）、三極雙學管（*triple twin tube*）、二極管（*diode*）。

【電子管之特性曲線】（Characteristic curves of electron tube）

爲電子管屏極電流與管子各電極外加電壓之間的關係曲線。根據電子管特性曲線可以判斷電子管的性能，並可決定欲使電子管具有所需要的效能時，其各個電極上應當加以什麼電壓，即可以正確地選擇電子管的工作狀態，還可確定柵極和屏極負荷及降壓電阻等的大小。最常用的是所謂電子管的柵極特性曲線及屏極特性曲線，如圖 13—202 所示爲雙三管 6 J 6 的屏極靜態特性曲線。

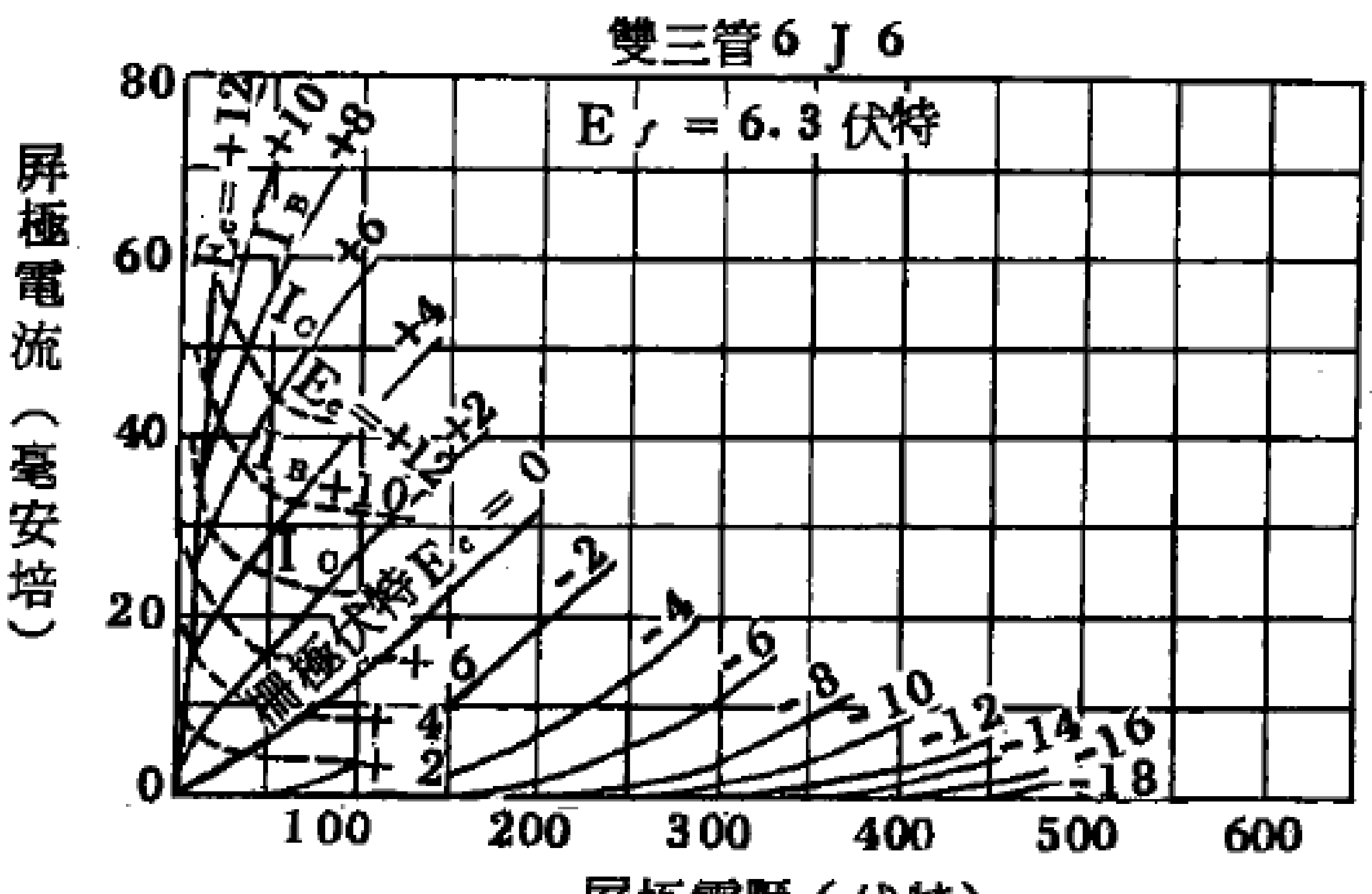


圖 13—202
雙三管 6 J 6 的屏極靜態特性曲線

特性曲線代表每一電子管的特性，此特性並非偶然得到，而是爲了一個目的而設計成的。設計電子管需要考慮很多的因素，如管中各極的幾何形狀、各極間相互的空間距離、損耗功率的能力以及其他因素等，由這些因素可決定，加於各極電壓的最大值、最大許可屏極電流、屏極截止值以及管的放大等。

【電子管之特性常數】（Characteristic constants of electron tube）

代表三極管設計因素的一序列數字，就稱爲電子管特性常數。最重要的三種電子管常數，就是放大因數（*amplification factor*）、交流屏極內阻（*A. C. plate resistance*）以及互導或稱跨導（*mutual*

conductance or transconductance ）三者， 這也就是通稱的電子管特性常數。

【電子管伏特計】（ Vacuum-tube-voltmeter ）

在很大頻率範圍內（直到最高頻率）測量交流電壓的儀器，由電子管和靈敏的直流電表所組成。被測電壓加於電子管的柵極，電子管的工作狀態，應該使得加入的交流電壓能使管子屏流的直流分量發生變化，這種變化即在直流電表中指示出來。全部裝置預先已經校準，刻上度數，於是根據直流電表的讀數便能立刻讀出所加交流電壓的大小。電子管伏特表也可以用來測量直流電壓，在這種情況下，因爲電子管輸入阻抗很大，所以電子管伏特計也可以作成高阻伏特計。測量時電表本身影響電路甚小，故測得的數值比較上準確。

【電子管振盪器】（ Vacuum-tube oscillator ）

利用電子管以產生等幅振盪的裝置。電子管振盪器的主要元件是電子管（及其電源）和接於電子管屏極或柵極電路內的一個或數個振盪廻路，其聯接方法應使得在這些電路之間能夠具有反饋。如圖 13 — 203，爲最簡單的電感反饋電子管振盪器的線路圖。

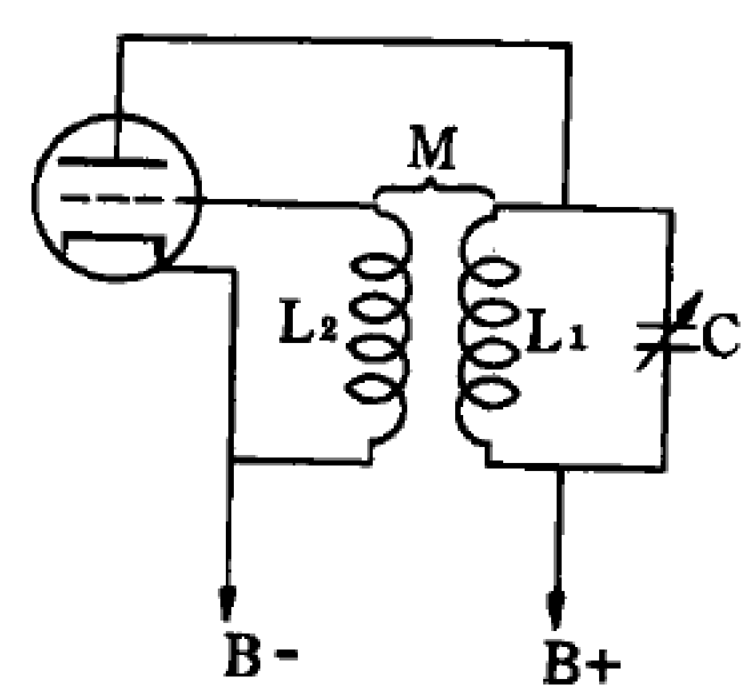


圖 13 — 203

利用電子管和反饋以維持廻路振盪的機構（如圖 13 — 203 所示的最簡線路）可按照下述情況來理解：如果在振盪廻路 L_1C 內發生了振盪，則因爲在線圈 L_1 與 L_2 之間存有互感 M，柵極上便產生出頻率與廻路振盪頻率相等的交變電壓；此交變電壓使電子管的屏極電流發生變化，因而經過廻路 L_1C 便流通著頻率與廻路振盪頻率相等的屏流交流分量。若此交流分量在相位上與廻路電壓相同，它就可以作出正功，此功便增強了廻路中的振盪能量。所以爲了維持振盪，首先就需要使電子管的柵極電

壓與廻路電壓的相位相同，就是說反饋應當是正的。其次，爲了維持振盪，屏流交流分量的大小應能使得它給予廻路的能量不小於廻路中的能量損耗（否則振盪將會衰減下去）。因此，爲了維持振盪，M應當足夠大，而反饋的大小應當超過某一定的數值，此值叫做臨界反饋。當反饋大於臨界數值時，屏流交流分量所給予廻路的能量將大於廻路中的能量損耗，廻路中所產生的振盪便增長起來，也就是發生了振盪的自激。然而隨著廻路振盪幅度的增長，亦即隨著柵壓幅度的增長，屏流交流分量的增長是要減慢的（因爲屏柵極特性曲線是彎曲的）。廻路中能量損耗要比交流分量給予廻路的能量增長得快一些，當一週期內的平均損耗恰好受到補償就建立起了等幅振盪。反饋越強，振盪廻路中的能量損耗越小，即廻路的有效電阻越小，則振盪的幅度就越大。

【電子管接收機】（Vacuum-tube receiver）

利用電子管來進行放大和檢波的接收機。從作用原理來看，電子管接收機可以分爲兩個主要類型：

1. 直接放大式接收機（*direct amplification receiver*）——在這種接收機裏，信號在檢波以前的全部放大都是在所收頻率上進行。

2. 超外差式接收機（*super-heterodyne receiver*）——在這種接收機裏，先將所收頻率進行變換，信號在檢波以前的放大，則是在此變換以後的頻率上進行。直接放大式接收機可能是單管的，也可能是多管的。超外差式接收機內，通常不少於三個電子管。

【電子管規定值】（Vacuum-tube rating）

指使用電子管時一般電流電壓值，普通記錄在電子管特性手册中。

【電子管動特性曲線】（Vacuum-tube dynamic characteristic）

即當電子管屏極電路內接有負荷（*load*）時（此時由於屏路內接有負荷，故屏流的變化會使屏壓發生變化），屏極電流與柵極電壓的關係

曲線。其所以叫做動特性曲線，是因爲它和靜特性曲線（*static characteristic*），即普通的柵極特性曲線或屏極特性曲線不同，後者是當屏壓爲一定時，卽沒有屏路負荷時的上述關係曲線。如果屏極的負荷是純電阻，則屏流增大時，負荷上的電壓降增大，屏極上的電壓便相應地減低。因此屏流不論增長到若屏壓爲定值時（卽無屏路負荷時）所能增長的程度。由此可知，電子管動特性曲線的斜率小於同一管子的靜特性曲線的斜率，屏路負荷的電阻越大，則斜率越小。

【電子管屏導數】（Perveance）

譬如二極管　　$i_p = GE_p{}^{3/2}$

三極管　　$i_p = G\left(\frac{E_p + \mu E_g}{1+\mu}\right)^{3/2}$

式中E_g 爲柵電壓，M爲放大係數，E_p 爲屏電壓，G爲屏導數。

【電子管電壓表】（Vaive voltmeter）

無線電工程或修理測驗儀器之一，利用它可以測量電阻和電壓值。

參閱“電子管伏特計（*Vacuum-tube-voltmeter*）”條。

【電子管管底】（Electron tube base）

這是電子管的蹬頭，其中裝有各個電極的引線，用來將電子管接入於外部電路。各類電子管有時具有不同類型的管底，因此，不同類型的管子便要求與管底相對應不同類型之管座。現代電子管中應用最廣的是所謂八腳座（*octal socket*）。

【電子管靜特性曲線】（Vacuum-tube static characteristic）

這是當電子管的屏極電壓恆定不變，卽沒有屏極負荷時的電子管柵極特性曲線。這種特性曲線之所以叫做靜態曲線，是由於與電子管動特性曲線有所不同，後者是在屏極電路中有負荷時測繪出來的。

參閱“電子管動特性曲線(*Vacuum-tube dynamic characteristic*)”條。

【電子管檢波器】（Vacuum-tube detector）

用來對電振盪進行檢波的電子管。利用電子管進行檢波時，可以利用二極管特性的不對稱性，即所謂二極管檢波（*diode detection*），也可以利用三極管柵流特性的不對稱性，即所謂柵極檢波（*grid detection*）；還可以利用三極管屏流特性的不對稱性，即所謂屏極檢波（*plate detection*）。

【電子像管】（Electron image tube）

即陰極射線管（*cathode-ray tube*）。用於使不可見之輻射，如紅外線等增加其亮度或產生可見之像。

大而且具有高度敏感之冷陰極（*cold cathode*），可作如光學像焦面之用。由陰極所發之輻射在觸及螢光屏之前，先通過一個適當之透鏡系統，然後在屏上產生一個擴大而明亮之像。此種裝置常用作電子顯微鏡、電子遠鏡、紅外線顯微鏡（*infrared microscopes*）、紅外線遠鏡及螢光鏡（*fluorescope*）之增強器。

【電子遠鏡】（Electron telescope）

採用光學透鏡形式之電子儀器，使物體之紅外線像從陰極電子像管之陰極上觀測。

參閱“電子像管（*Electron image tube*）”條。

【電子數】（Electron number）

詳閱“輕子數（*Lepton number*）”條。

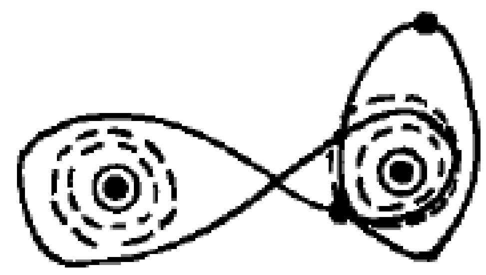
【電子論】（Electron theory）

由正負電子及中子組成原子，由原子組成分子，再由分子組成萬物的基本學說，我們稱之為電子論。

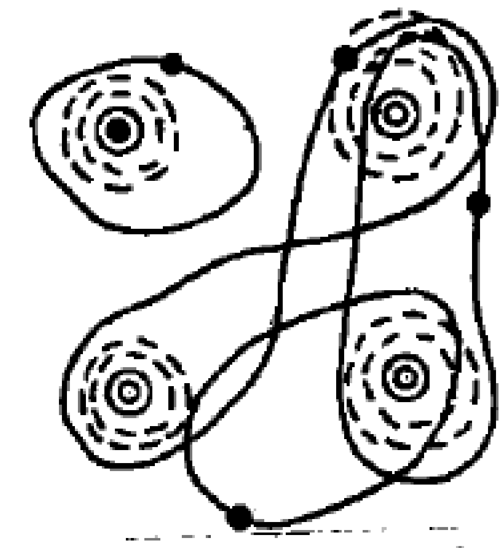
【電子漿】（Electron soup）

金屬中的原子聚集在化合物以及氯化鈉晶體中，金屬原子是將自己的電子給予其他缺欠電子的原子。如圖 13—204 (*a*) 所示，當兩個鈉（*Na*）原子接近時，在外層的電子會逐漸覺察到另一個原子的存在，

甚或跳躍過去，於是一個原子的外圍有兩個電子在繞行，另一原子則無，但這種排列極不穩定，一或兩個電子又會跳回到原來的原子。在兩個電子接近於某一原子的那一段短時間內，這一原子是一個帶負電荷的鈉離子Na^-，並吸引另一帶正電荷的鈉離子Na^+，由於這種外層電子的高度遷移性（*mobility*），這兩個鈉原子才能束縛在一起。



(a)兩個鈉原子，僅其最外層電子繪出，內層電子以虛線表示



(b)四個鈉原子

圖 13 — 204

如果另有兩個鈉原子接近於前述的兩個原子，如圖 13 — 204 (*b*) 所示，在四個原子的四周將有四個鬆弛的電子圍繞運行，但是在一段短時間內，一個原子可能會有兩個電子，因而帶負電吸引附近帶正電的鈉離子。如再加入更多的原子，那麼將極難分辨出何電子屬於何一原子，而電子的途徑則較似圖 13 — 205 所示。自其途徑的一部分看來，此電子或可說是屬於某一原子，可是在絕大部分的時間內，每一電子僅掠過許多原子的最外層，很少進入原子的中心。雖然它原是某一原子的外層電子，但它並不特別垂青於這原子，這些電子是在原子與原子間的空隙中運行，它們與帶有正電荷的鈉離子也相互吸引。這些外層電子相聚而成一種帶負電荷的漿（*soup*），帶正電荷的鈉離子則“浮”於其中。由於這種負電荷漿與正鈉離子間的吸引力，方形成鈉金屬。

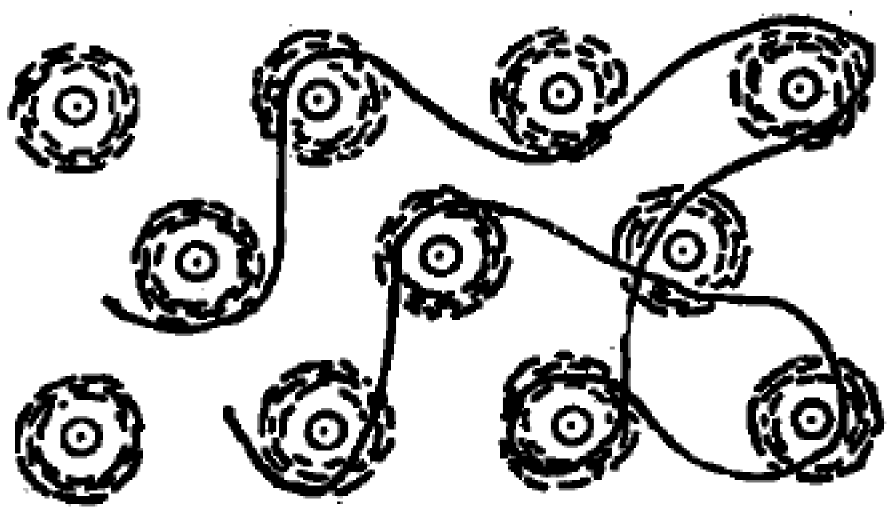


圖 13 — 205
鈉晶體，僅繪出一個電子的運行途徑

這種流質的電子漿，物理學家稱之爲電子氣體（*electron gas*），是爲何金屬會導電的原因。如將金屬聯以電池以產生電場（*electric field*），則這些移動迅速的電子會順著電力的方向移動，電子由電池

的一端進入金屬，而在另一端回到電池，這就是電流。同理由於這種電子漿的存在，導電良好的金屬也是良好的熱導體。在金屬的一端加熱，漿中的電子會加快其運行速度，這些較快的電子則將它們過多的動能（*kinetic energy*）帶到金屬的其他部分，而使其變熱。

電子漿另有一項特性，在液態中電子漿連繫金屬離子的情形，與在固態中幾乎相同。電子漿有如一種液體，在液態時，金屬離子游於其中，而在固態時，金屬離子在其中形成晶體。我們可將鈉與鑽石中的電子軌道加以比較，即可得知。鈉熔於沸點以下的97°C，與大多數元素的熔點相比，這算是很低的溫度。但熔化晶體所需的熱量雖不多，如欲使離子自漿中逸出，則需更多熱量，鈉必須加熱至900°C才能氣化。鑽石的情形又有所不同，鑽石中的電子是固定在鍵內，沒有鈉電子的漿之性質，因此如欲熔化鑽石，則需加高熱。由於這種鍵極爲堅固，需加熱到3,500°C方能將其擊破，但一旦這些鍵被擊破之後，原子便直接自晶體蒸發，無須經過液化的過程。寬廣的液態溫度區正是金屬的特徵，例如汞（水銀）是人所週知在室溫下呈液態的金屬。

有些金屬如鐵、鎢等其熔點較高，這些金屬是以兩種不同的方式聚在一起的，一種爲電子漿，另一則爲鑽石晶體內原子間的鍵。因此這些金屬具有鍵的堅固性質，同時又有電子漿的導電性能。

【電子耦合】（Electron coupled）

聯接於電子管各不同電極上的電路之間的耦合，是由於管內電子流的相互作用而產生的。因爲在多柵電子管內，一個柵極上電壓的變化通常不只是影響到本柵極電路內的電流強度，並影響到其他柵極電路內的電流強度，所以投落於各個不同柵極的電子流彼此之間是相互關聯著的，與各柵極相聯接的外部電路從而互相耦合在一起。電子耦合應用於某些多極電子管組成的電子管振盪器電路內。

【電子耦合振盪器】（Electron-coupled oscillator）

電子耦合振盪器實際上就是振盪器與緩衝放大器合併於一級而成，通常使用五極管，電路內振盪部分靠電子管內部之電子流，使與放大部分相耦合。從屏極取出輸出時，對於振盪器之負荷效應極小，故頻率非常穩定。

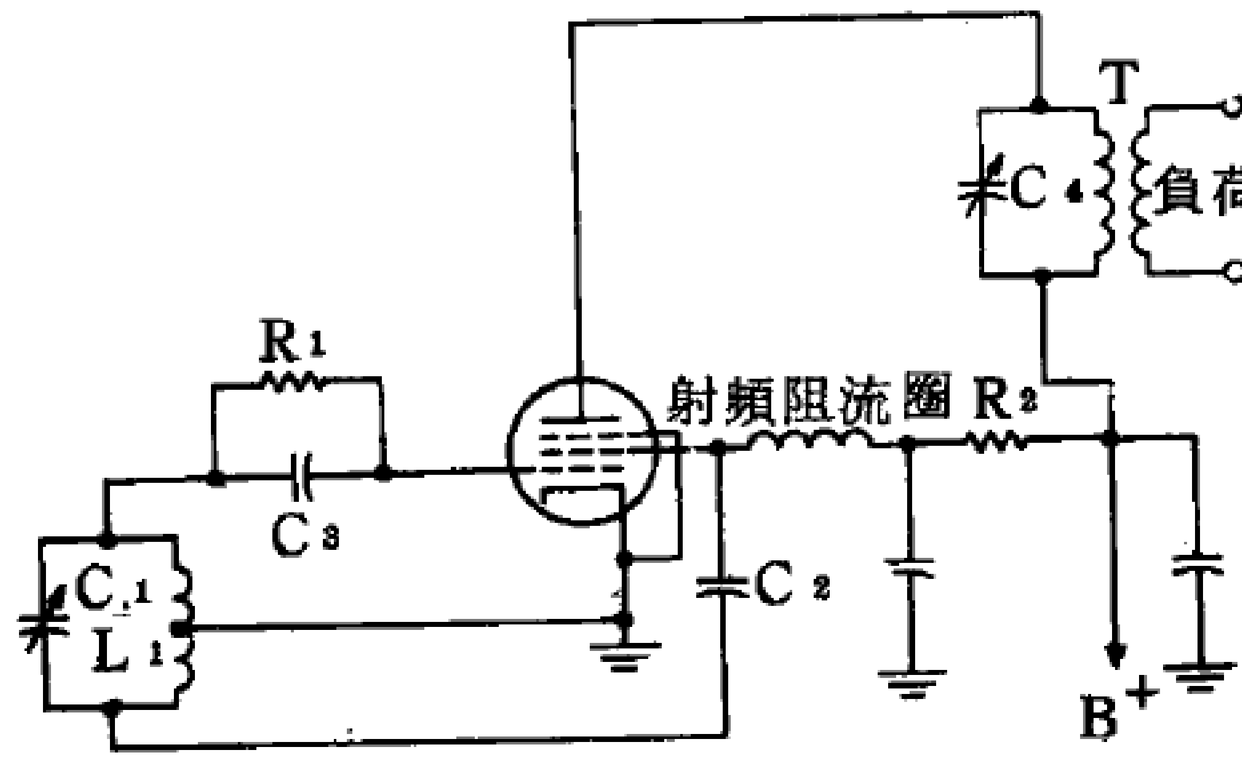


圖 13 — 206
電子耦合振盪器線路圖

如圖 13 — 206 所示之電子耦合振盪器，將陰極、控制柵極及簾柵極接成一般之哈特萊振盪器電路，此簾柵極與並饋式哈特萊振盪器電路屏極之作用相同。簾柵極電壓之變化，經容電器C_2耦合回至柵極槽路。實際上，任何其他程式之振盪器都可用此五極管之陰極、控制柵極及簾柵極連接而成。電子耦合振盪器之穩定性雖甚良好，惟因增益大，輸出內可能含有相當之失眞，倘於屏極負荷處用一槽路如圖所示則可將失眞減至最小。

陰極所發射之電子，大部均經過簾柵極而至屏極，中途被簾柵極截取者爲數甚少。此電流雖少，但所獲得之反饋已足夠維持振盪之用。由於大部分電流經過簾柵極到達屏極，故可以利用此管內之電子流，將振盪器之振盪耦合至輸出（屏極）電流。同時控制柵極上之振盪信號，與一般五極管一樣，能將管內之屏流放大，故能獲得較大之輸出信號。

在電子耦合振盪器內，可使用頻率倍增槽路，作爲屏極之負荷，如是可調整此屏極槽路，以獲得兩倍或三倍於柵極槽路頻率之頻率。

【電子熱容】（Electronic heat capacity）

是早期有關金屬內電子理論的發展過程中，一直無法解決的問題。金屬內的價電子有高度的移動性可以傳熱導電；於是將電子當作自由粒子，以古典的統計力學處理，則每個價電子的熱容是$\frac{3}{2}k_B$。k_B是波茲

曼常數（*Boltzmann constant*）。所以一含有N個原子的單價金屬，其電子的熱容應爲$\frac{3}{2}Nk_B$。但實驗結果卻少於此數的百分之一，使得當時的物理學家非常困惑。一直到庖立（*Pauli*）的電子不相容原理提出後，衆人才有所領悟。庖立不相容原理是不容許兩個電子佔有相同的量子態的。

將一電子氣體自絕對零度加熱至T度，按庖立不相容原理，並非所有的電子都獲得$k_B T$爾格的能量，只有能量在費米能階（*Fermi level*）E_F左右$k_B T$爾格範圍內的電子才能獲得$k_B T$爾格的能量，跳到空的量子態（在費米能階以下所有量子態均被佔滿，且假設$k_B T < E_F$）。

設T_F是費米溫度，即$k_B T = E_F$，此電子氣體有N個電子，則約有T/T_F的電子能獲得$k_B T$爾格的熱能。故加熱至T時，電子的熱能總量$E_l \approx N\frac{T}{T_F}k_B T$，電子的熱容$C_l$爲

$$C_l = \partial E_l / \partial T \approx N k_B T / T_F$$

$$T_F \sim 5\times 10^4 \ {}^\circ K$$

C_l與T成正比，與實驗的結果相符，且在室溫時，C_l約爲$\frac{3}{2}Nk_B$的百分之一。

【電子調速管】（Klystron）

亦即通稱之調速電子管，此調速管可用作振盪管，也可用作放大管，並且可以在小頻率範圍內調整。在電子調速管內，所產生之電子流，在前往屏極途中，要經過幾道由兩個諧振腔所控制之柵極。當一個RF電磁場加於第一個空腔，使電子流一會兒

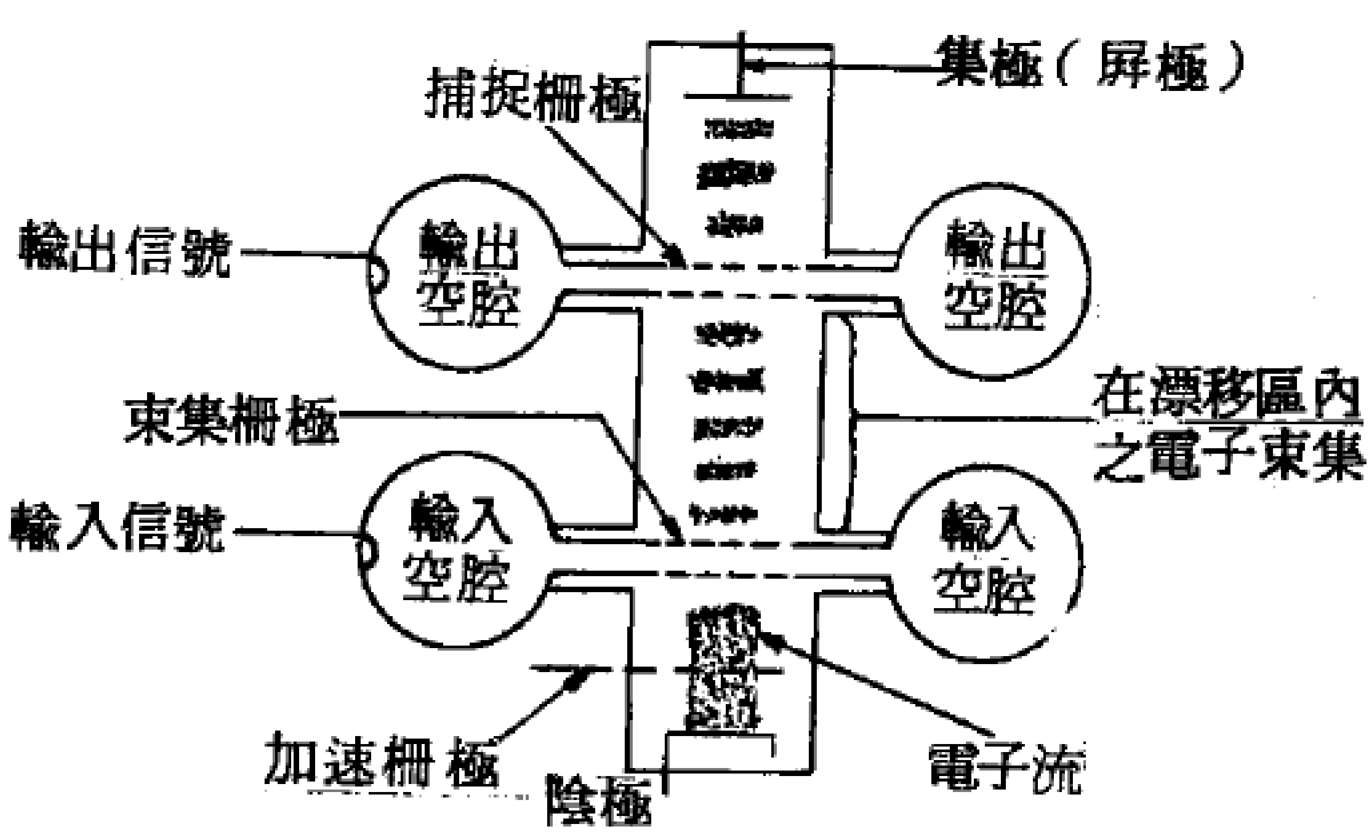


圖 13 — 207　電子調速管

減慢，一會兒加快，將電子流分成與信號頻率相符合之很多電子組或電子束集（*buncher*）。

當電子束集在兩個空腔間之漂移區內經過時，移動快之束集趕上移動慢之束集，並與之相合併。當電子束集經過第二個空腔或輸出空腔時，已增加之束集內之電子即集中，所以在輸出空腔內所獲得電子束集之功率，較輸入至第一空腔內原來之功率爲大，故輸入與輸出空腔之間有放大作用。當電子調速管用作振盪器時，可將輸出功率之一部分，以正確之相位，反耦至輸入空腔即可。

詳閱“調速電子管（*Klystron*）”條。

【電子學】（Electronics）

電子學爲研究電子的科學。但由於電學和電子學的研究，均將涉及並用到電子流動的觀念，故兩者的劃分不易明晰。爲便於區別計，電子學可定爲研究有關電子在眞空管或含氣管中流動的科學。眞空管及含氣管統稱電子管（*electron tube*），故電子學係研究裝有電子管的任何設備的科學。其包括範圍很廣，在物理學方面，它研究氣體、固體和眞空中電子現象的規律，如電子發射、電子運動、氣體導電等；而在電工學方面則研究這些現象的實際應用，如電子管和半導體電子器件的設計製造問題，叫做應用電子學。

由於電子和電磁波的作用特別迅速靈敏，電磁波可以超越空間，而且光、聲、溫度、濕度、酸度、壓強等都可以變換成電的訊號，用電子學方法進行精確測量，或利用這些訊號以自動控制這些現象和過程，因此電子學的應用已遍及各個方面。

【電子親和性】（Electron affinitiy）

電子之親和性我們可由兩方面來看：

1.從化學的觀點而論，所謂某物質的電子親和性，是指該物質與電子結合成離子，在溫度 298°*K* 時，所放出或吸收的能量，以反應式

表之，即

$$x+e^{-}\rightarrow x^{-}+q$$

式中 q 爲放出（值爲正）或吸收（值爲負）的能量。

2.某物質的電子親和性，即該物質負離子的游離能。玆將常見物質的電子親和性列表如右：

物　質	電子親和性
氟 F	3.45 eV
氯 Cl	3.61
溴 Br	3.36
碘 I	3.06
氧 O	−7.30
硫 S	−3.50
硒 Se	−4.20

【電子譜】（Electronic spectra）

一種分子可有幾種電子組態或穩定態，各有其自已之能量，激發分子中電子之運動所需之能量數量級爲1至10eV，故當一分子產生一電子躍遷時，從一電子組態跳到另一組態，所生之輻射出現於光譜的可見範圍或紫外線區。對一已知電子態有許多振動態對應，而對每個振動態有許多轉動態對應；作第一近似，可將分子之能量寫成這種形式

$$E=E_e+E_v+E_r=E_e+\left(v+\frac{1}{2}\right)\hbar\omega_0+\frac{\hbar^2}{2I}l(l+1)$$

式中 E_e 係指電子能量，在一電子躍遷中，三種能量可全部改變，因此在電子躍遷中能量之改變必寫爲

$$\Delta E=E''-E'=\Delta E_e+\Delta E_v+\Delta E_r$$

式中 $\Delta E_e=E_e''-E_e'$ 爲電子能量之改變，$\Delta E_v=E_v''-E_v'$ 爲振動能量之改變，而 $\Delta E_r=E_r''-E_r'$ 爲轉動能量之改變；因此在一電子躍遷中所發射或吸收之輻射的頻率爲三項之和

$$\nu=\frac{\Delta E}{h}=\nu_e+\nu_v+\nu_r$$

式中 $\nu_e=\Delta E_e/h$ 是由於電子能量之改變，而 $\nu_v=\Delta E_r/h$ 及 $\nu_r=\Delta E_r/h$ 分別對應於振動及轉動能量之改變，頻率 ν_e 爲最大。對一已知電子躍遷而言，其光譜由帶系所組成；每一帶對應於一定之 ν_v 值及全

部可能之ν_r值。

一分子之光譜是有關分子性質及結構最重要的資料來源之一。

【電子繞射】(Electron diffraction)

根據德布洛利(*De Broglie*)之假設，一動量爲p的粒子，其行徑可視同波長爲$\lambda = h/p$的物質波。假如這粒子是電子（質量爲m，電荷爲e），由靜止起動，在兩電極間加速，兩電極的電位差是V，則電子所獲得的動量爲

$$p = mv = \sqrt{(2meV)}$$

當然$v \ll c$（光速）。若v與c相當時，尚須以相對論力學處理。得物質波(*matter wave*)的波長爲

$$\lambda = h/\sqrt{(2meV)} \approx \sqrt{(150/V)}$$

V的單位是伏特，λ的單位是埃，當V爲150伏特時，λ約爲1埃。將這樣的波（實際上是電子束）射在晶體或薄膜上，就可以產生像X光繞射實驗所得的繞射圖案，故名之爲電子繞射。

值得一提的是要產生一埃的X光，所需電壓高達12,000伏特，而用電子做實驗時只要150伏特。又因爲電子帶有電荷，和物質的作用較激烈；所以像50KeV的電子射束，小角度掠射於晶體表面，發現此電子射束只穿入50埃就被反射出來。於是電子繞射亦可用以觀察金屬表面薄薄的一層氧化物的結構，這是X光繞射實驗無法做到的。

【電子躍遷】(Electronic transition)

電子有時也能吸收光能而跳越禁戒能隙，進入傳導帶中。圖13—208的箭頭就表示這種電子躍遷。在室溫時，禁戒能隙寬度對室溫時的熱能而言不算過高，所以這種躍遷就不斷發生，同時，電子也會從傳導帶躍遷回價能帶。由於這兩種躍遷過程，在室溫時，半導體傳導帶中總會有少量電子存在著。而又因爲半導體禁戒能隙的寬度相當於可見光的能量，所以在平衡狀況時，放置在亮處的晶體其傳導帶中的電子數要比

放在暗處的晶體來得多些。

原子的能階，由其電子所在的狀態（軌道）決定；通常，原子受激發後，由較低能態變為受激態的較高能態時，即發生電子躍遷現象。當原子由受激態，返回或降至較低能態時，也發生電子躍遷現象，同時並發射光譜。其輻射頻率可以下式表之：

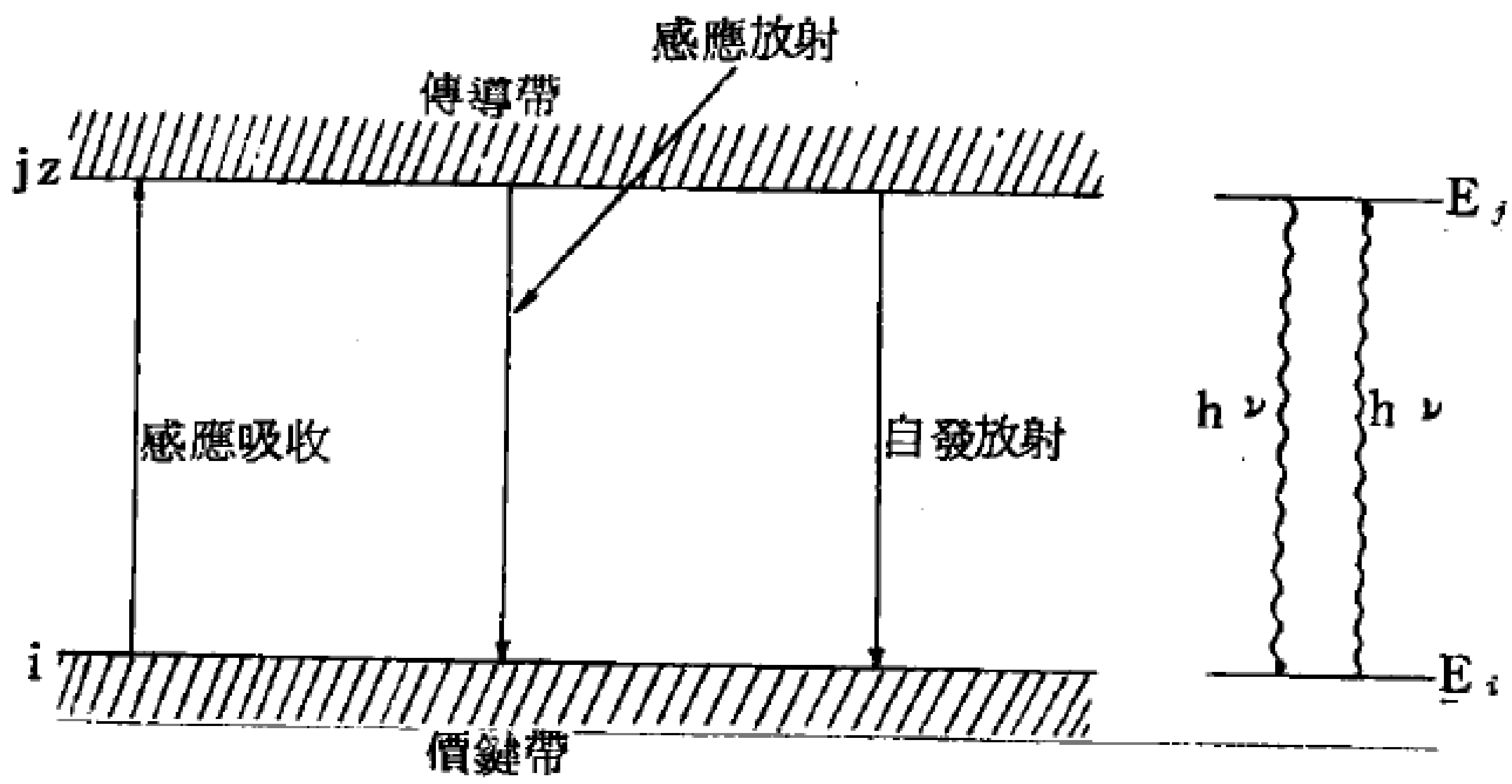


圖 13 — 208
原子中二能階間之躍遷能經由感應吸收、感應放射和自發放射三種方式發生。

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}$$

即電子由 n 態躍遷到 m 態時，發射頻率為 ν 的輻射。

另一種情形是當原子受到外來高速度電子的撞擊，原子內層軌道的電子被擊出；位於高層軌道的電子即轉移至內層，以填補被擊出電子的空位，也發生電子躍遷現象，發射標誌 X 射線（*characteristic X-radiation*）。

【電子顯微鏡】（Electron microscope）

是一種電子儀器設備，可用以觀察(1)詳細研究電子發射體表面電子的放射情形。(2)普通光學顯微鏡的放大倍數和鑑別率有限，無法觀察的微小物體。以電子來代替可見光束，觀察物體時，鑑別率就沒有波長要在可見光譜之內的限制。不過電子透鏡無法作得像光學透鏡那樣完美，

因此理論上，電子顯微鏡所獲得的鑑別率並不可靠。目前電子顯微鏡的鑑別率可達 10^{-7} 厘米（＝10埃，約爲原子直徑的兩倍）。通常電子顯微鏡的放大率是 200 到 200,000 倍，再經照相放大可達 1,000,000 倍。

電子顯微鏡有兩大類：(1)發射型。(2)電磁、靜電和掃描型。前者用於研究電子放射現象；後者用以增加普通光學顯微鏡的應用範圍。目前國內較大公立研究機構，例如中央研究院、臺灣大學及中正理工學院等，都有電子顯微鏡的設備。

1924 年法國物理學家德布洛利（*Louis De Broglie*）指出電子和其他的粒子可以具有和光類似的性質。他還求出了計算它們"波長"的公式

$$\lambda = \frac{h}{mV}$$

式中 m 是粒子的質量而 V 是它的速度，h 是浦朗克常數（*Planck's constant*）。此公式發明的年代雖早，然而經後來的美國科學家德維生（*Davisson*）及革末（*Germer*）用實驗證明這是對的。既然這是正確的，也就是說：雖然電子是一種可以稱重量，可以數數目，可以被電子槍發射的粒子，但它同時又是一種波。從公式中我們可以

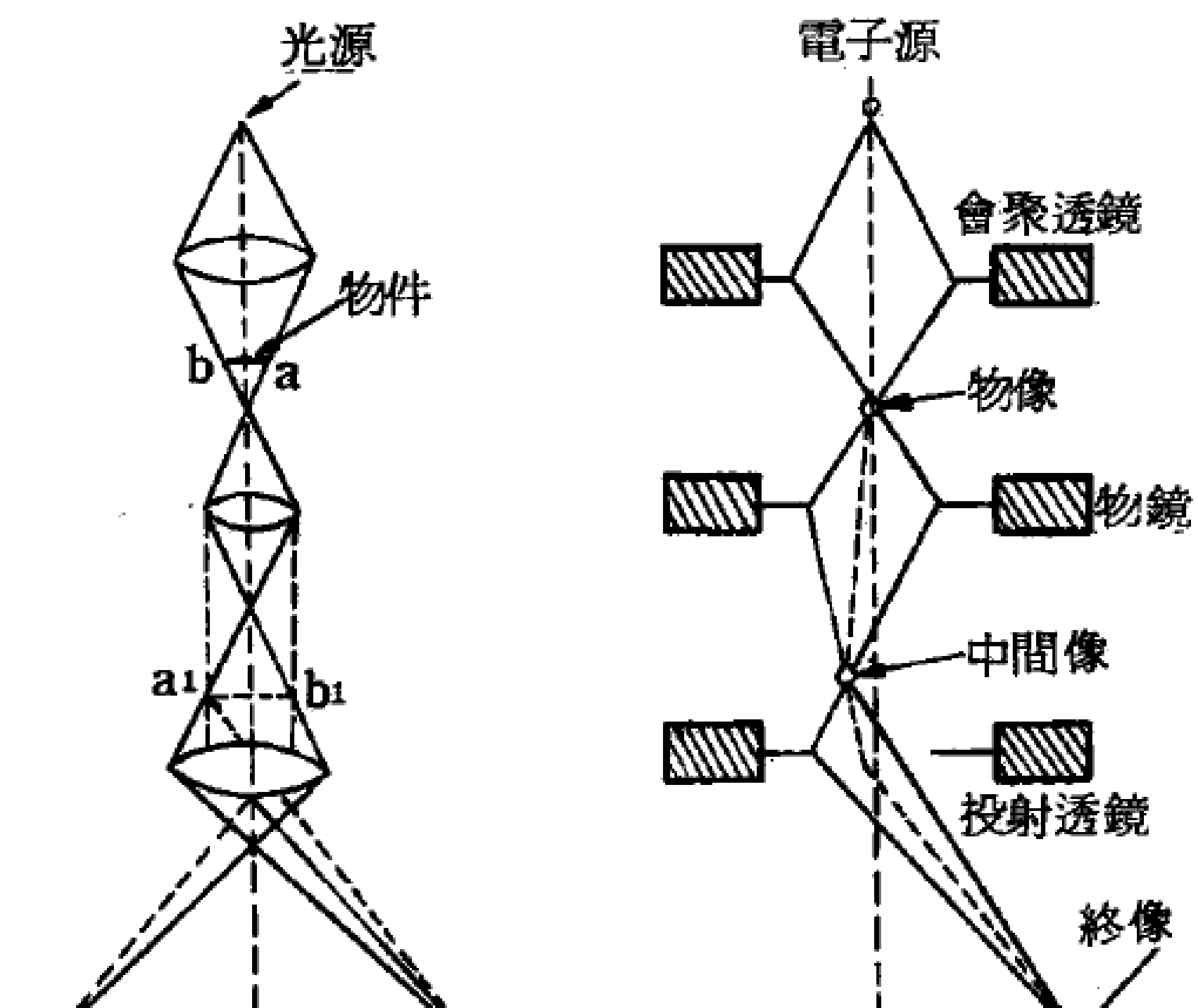


圖 13 — 209
光學顯微鏡和電子顯微鏡之對比

看到，如果令電子運動的速度十分巨大的話，就可以有波長極短的波產生。如果在光學顯微鏡中被觀察物的大小是比光波長還小的話，我們就不能分辨它出來。在實用上通常取波長 λ 的三分之一作爲限度，而光波的波長約在 6×10^{-5} 厘米左右，它的三分之一就是 2×10^{-5} 厘米了。不幸有很多科學家急待觀察的微小東西如病毒體、膠體粒子及結晶結構的大小都在這限度以下，既然如此，如果我們把一顆運動中的電子加速，使它產生巨大的速度而有極短的波長，那麼做成的電子顯微鏡就可以觀察到極微小的物體了。把它加速的辦法是在眞空中施加高電壓，電子就會集束射出，波長可能會達到 2×10^{-9} 厘米這樣短的長度，也就是說：它可以使電子顯微鏡觀察到小至 $\frac{1}{3} \times 2 \times 10^{-9}$ 厘米或 7×10^{-10} 厘米這樣小的物體！當然這只是理論上的結果，在實際上因爲儀器的問題，不可能達到這種地步的。但無論如何，電子顯微鏡已可以放大五萬倍以上；而有些甚至精良到可將物體放大十萬倍。

電子顯微鏡如圖 13—210所示。中有一根電子槍，和顯像管（*C.R.T.*）差不多。電子在槍內集束射出，由外加的磁場經適當的電磁設備就可以把它們集束和控制方向。我們把一片待觀察的物體，例如說一片晶體，放在電子顯微鏡中，電子

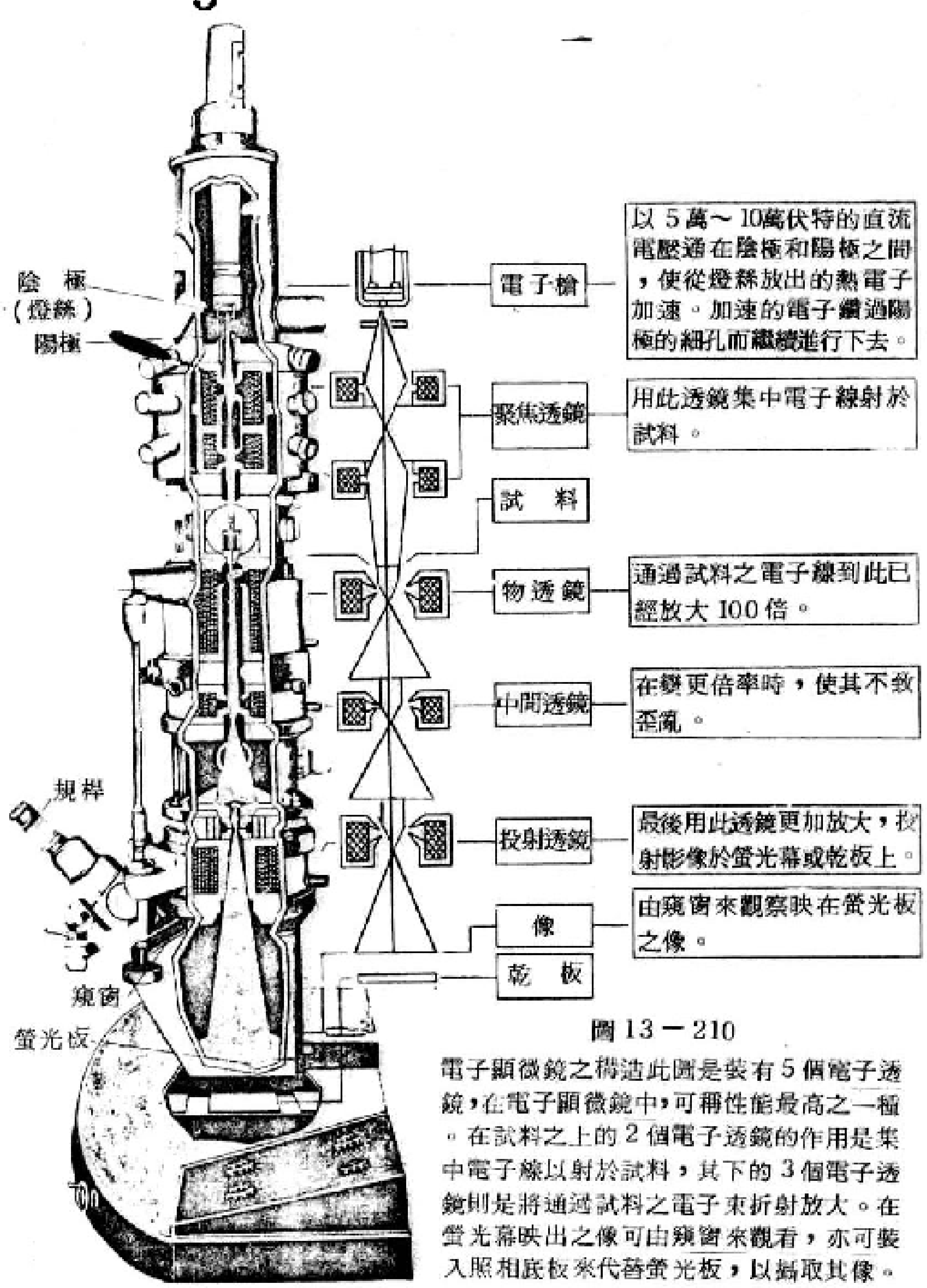


圖 13－210

電子顯微鏡之構造此圖是裝有 5 個電子透鏡，在電子顯微鏡中，可稱性能最高之一種。在試料之上的 2 個電子透鏡的作用是集中電子線以射於試料，其下的 3 個電子透鏡則是將通過試料之電子束折射放大。在螢光幕映出之像可由窺窗來觀看，亦可裝入照相底板來代替螢光板，以攝取其像。

束就會射向這片物體上，在一塊螢光幕上就會得到一個放大了的影像。如果在電子顯微鏡中用感光的底片代替螢幕的話就可以得到一張微觀世界的珍貴圖片，而一些特別好的電子顯微鏡，甚至可以觀察到一些巨分子的結構！這些圖片在科學研究上的價值十分重大。當然，在電子顯微鏡中不會這樣簡單，它要涉及電子射線通過物體產生不同的散射而造成明暗不同的影像。

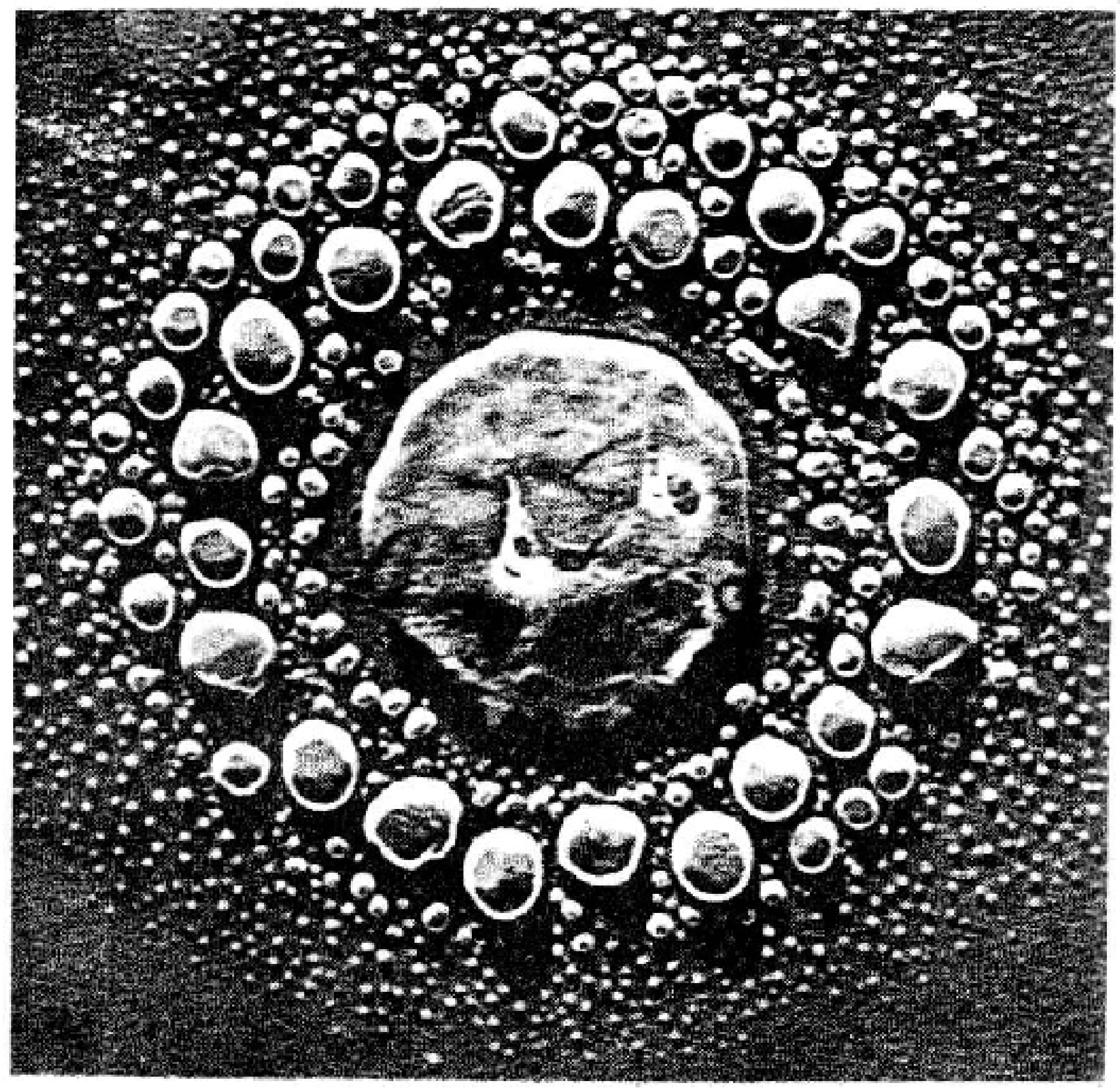


圖 13—211
用電子顯微鏡放大的一滴硫酸粒

最近，有些電子顯微鏡是利用電子束的反射來觀察較厚的物體例如病菌、病毒及其他極微小物體的巨分子組織，而最新的電子顯微鏡用的卻不是電子，而是離子（ *ion* ）藉以達到更短的波長。米勒（ *E.W.Miller* ）曾經利用氦（ *helium* ）的離子（氦原子失去一個電子而成）成功地拍攝到金屬表面的單獨分子運動！這種電子顯微鏡可以分辨原子之間相隔百萬分之二十七厘米的空隙，它是目前電子顯微鏡中最巨而有力的一種。

電子顯微鏡的發展和完成的過程，扼要地記載如下：

1. 1932 年——(1)魯登堡（ *Rudenberg* ）完成電子顯微鏡的設計圖，獲得德國政府之專利執照。(2)勃魯熙（ *Brüche* ）及約翰笙（ *Johannson* ）造成第一具靜電式電子顯微鏡。因僅足供發光物質的放大之用，故其功用非常有限。(3)諾耳（ *Knoll* ）及羅斯卡（ *Ruska* ）發表了第

一個發射式電子顯微鏡（*transmission electron microscope*）的說明書，爲現代磁場式顯微鏡的典型。此儀器具有一電子發射體及兩個放大鏡（*magnifying glass*）。惟尚未使用聚焦透鏡(*convergent lens*)。其顯像雖不及優等光學顯微鏡，但其重要事實，爲第一次使一個照明的透視物（*specimen*），完成了電子顯微法照相。

2. 1934 年——羅斯卡改良了他的發射式電子顯微鏡，即增加了一個聚焦透鏡，獲得的顯微照相，顯示有較光學顯微鏡更優的分像能力。

3. 1935 年——特萊斯脫（*Driest*）及牟勒（*Muller*）二人使用羅斯卡式電子顯微鏡，證明其分解組織的能力，較光學顯微鏡爲大。

4. 1938 年——馮保黎（*von Borries*）和羅斯卡二人，完成一改進的設計，使其電子顯微鏡的分像能力，達波長爲 100Å 的物質。

5. 1939 年——馮保黎與羅斯卡式電子顯微鏡，首先由德國西門子（*Siemans*）及霍爾斯克（*Halske*）公司製成商品。茅爾（*Mahl*）製成一成績圓滿

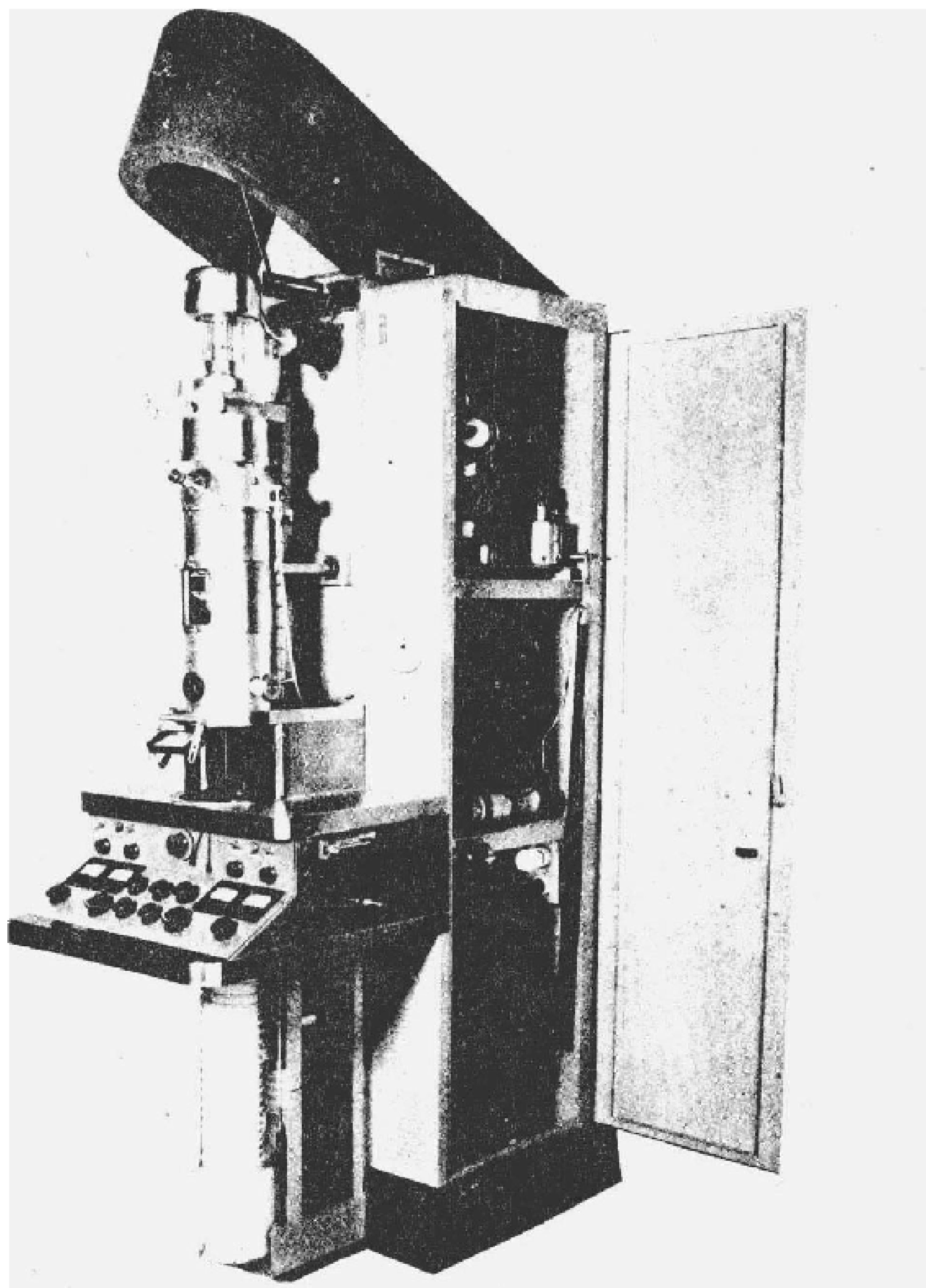


圖 13—212
早期的電子顯微鏡（R.C.A.EMU-2）

的靜電式電子顯微鏡，其分像能力達 70 Å ，且被透視物不須自己發光。德國 *A.E.G.* 公司首先作少量生產。

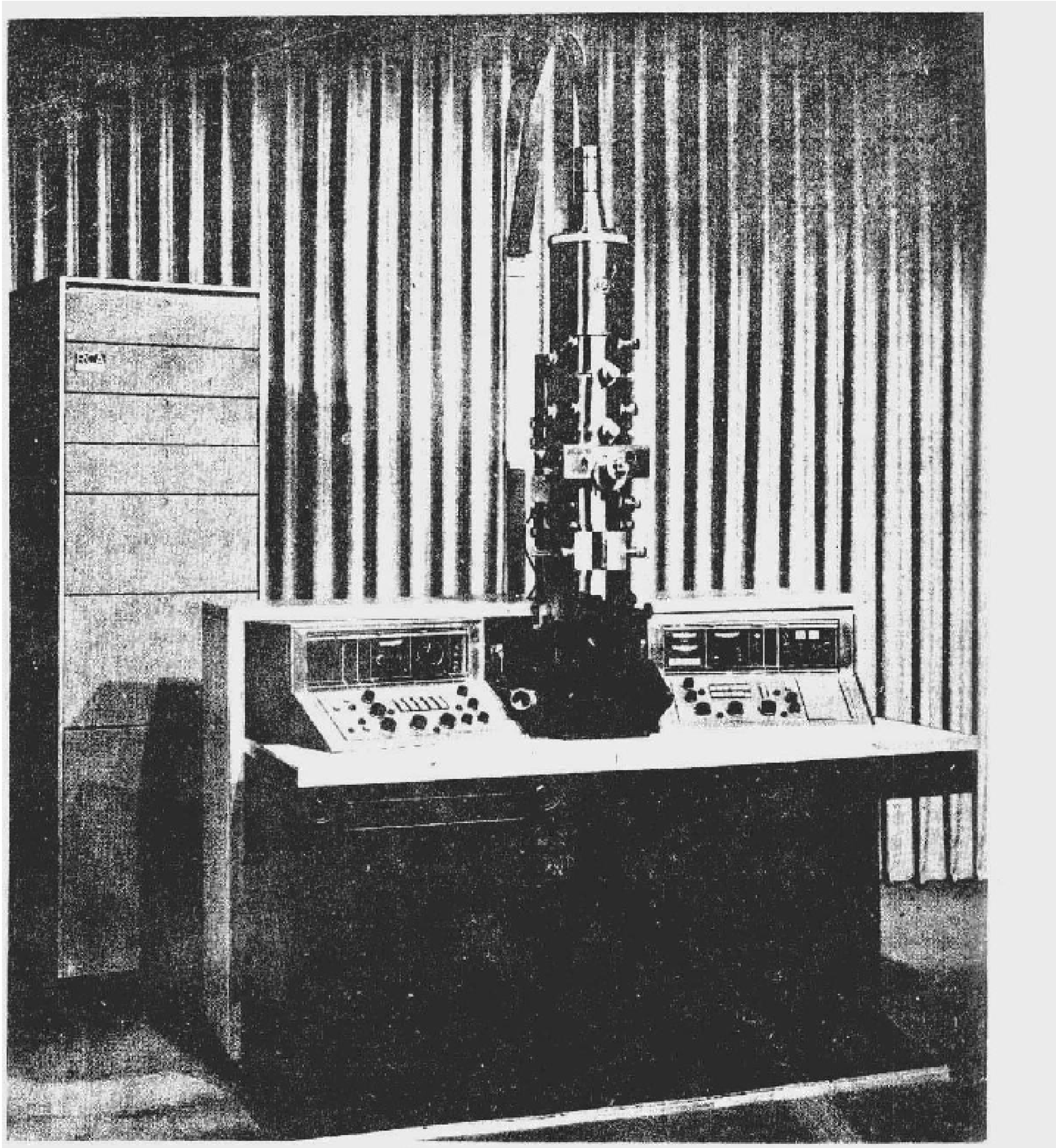


圖13 — 213
現代型電子顯微鏡（R.C.A. EMU-4）

6. 1941 年——海利歐（*Hillier*）及凡斯（*Vance*）等人製成 *R.C.A.* 公司 *B* 型電子顯微鏡，爲北美大陸生產的第一次問世的商品。

7. 1944 年—— 馮亞丁尼（ *von Ardenne* ）證明電子顯微鏡分解物像的能力，可及 12～15 Å 。

8. 1946 年——海利歐獲得一波長爲 10 Å 的分像照相，爲電子顯微鏡分像能力，受球面像差（ *spherical aberration* ）作用所限制的實用上邊際限度。已與理論上的分像限度 2.8 Å 非常接近。

9. 1947 年——海利歐與郎堡（ *Ramberg* ）創製成抵償式對物透

鏡（*compensated objective*）。

從上列事實，可知有貢獻於電子顯微鏡發展的人很多，而且竟能在短短的十五年間，使電子顯微鏡由理論和技術上的可能性，進步到驚人的圓滿程度。圖 13—212所示爲早期的電子顯微鏡（*R.C.A.EMU-2*），圖 13—213所示爲現代型電子顯微鏡（*R.C.A.EMU-4*）。

【電子顯微鏡之干擾】（Interference of electron microscope）

理想的電子顯微鏡，其解像能力約達 10 Å 。各種使影像變動的干擾，稱爲影像漂移（*image drift*）。

1.磁場干擾——爲了免除磁場的散佈，電子顯微鏡有隔離磁場的設施。可是當電子顯微鏡在操作的過程中，磁場的干擾，仍舊可能發生嚴重的影響。

磁場干擾最爲常見的是由於電子顯微鏡附近，交變磁場所引起。例如顯微鏡附近有交流電的電纜、變壓器或電壓穩定器等等。透視物的影像邊緣是電子束行徑的最敏感部分。經過電子束聚焦以後和透視物一致的影像，很顯然地會被磁場干擾所漂移。介於聚焦透鏡及對物透鏡間的區域，若被磁場所干擾，則橫切的交變磁場，顯將成爲電子束的搖撼者（*wobbler*）。

2.機械性干擾——要使機械性的干擾減到最低限度，必須把透視物室的設計藉堅固的支架固定在其位置上。可是因爲透視物支架必須能夠隨時更換，因此不可絕對固定，於是成爲振動的敏感部分。爲免除可能受泵振動之影響，常用避震支架及外殼以保護之。

3.透視物不穩定——影像的漂移也可因透視物的不穩定而發生，此即稱爲透視物漂動（*specimen drift*）。這可能是由於熱度的變動，因爲透視物銅絲網吸收熱量發生膨脹的結果。這種干擾在正常狀態的操作下比較平均，當電子束的活動直接加於銅絲網上時，即呈現影像的

漂動。一到透視物銅網及其支架的熱度平衡以後，影像的穩定性即可改善。

4.污染——從殘餘氣體或封氣塗油區域，因顯微鏡內表面被電子束撞擊，而慢慢沉澱的有機物質，其形成的絕緣層被電子直接或間接的轟擊以後，帶上了靜電的電荷，而產生一如靜電透鏡的作用。其電荷量及荷電位置，造成不同程度的影像漂移。

5.眞空度洩漏——電子顯微鏡柱殼內部的眞空，必須保持一定的水準。機械及油擴散式泵的使用狀況須要稍加注意。最大的困難，是空氣的滲漏量大到無法維持其需要的眞空度。嚴重的眞空洩漏在眞空度指標器上會有所顯示。

【電子顯像管】(Kinescope)

係用於電視接收機傳眞管 (*picture tube*) 之陰極射線管。在電視中用來使影像聚合，並使影像在螢光幕上重現出來。表示景物傳眞強度之訊號供應電子槍之柵極，射束之強度隨原來之景物而不同。這些不同之射束因不同之偏轉電壓而前後上下掃視，並將之感應於致偏板 (*deflecting plates*) 上，其過程與照相管之掃描動作一致。電子射束乃擊中管中之螢光屏，並再現出原來之景物。

【電工學】(Electrotechnology)

電工學係以電學爲基礎，研究如何最經濟和最合理地生產、傳輸及消費電能的技術科學。如電工學中專門研究電動機、發電機、變壓器等。

【電木】(Bakelite)

由烚醇樹脂所製成的材料，性硬而強。大都在點火系、無線電等處用作絕緣物。此物可製成管形、片形及桿形。

【電之分佈】(Distribution of electricity)

授電於導體上時，電流動而擴佈於導體之全表面，其內部則毫無電荷

存在；此因同類電荷互相排斥而恆相離。又電荷在導體表面分佈之狀況亦不同，隨導體之形狀而異；曲度大之處，電荷密度大，所分配之電量多；曲度小處，電荷之密度小，所分配之電量少。

【電之居里定律】（Electron's Curies law）

我們可以證明一物質的電極化率係依下面所列的關係式隨溫度而變

$$\chi_e = A + \frac{B}{T}$$

式中第一項相當於感應效應，而第二項相當於取向效應（*orientation effect*），此即爲電之居里定律。

【電之現象】（Electric phenomena）

帶電之物體，恆能吸引紙片、燈芯等極輕微物體，且二帶電體相接近時，若其電爲同類，則相吸引，異類則相排斥，是謂電之現象。

【電之傳導】（Conduction of electricity）

帶電體所帶的電，可由金屬傳至金箔的性質，叫做電的傳導。傳電容易的物質，如金屬等，叫做導體（*conductor*）。難以傳電，如玻璃、火漆等物質，叫做非導體，又叫絕緣體（*insulator*）。

【電之對流】（Electric convection）

絕緣導體之尖端集積多量之電，其互相排斥之力亦強，電因被排斥而常欲散逸。故導體有尖端，則電從其尖端流出，而散逸於空氣中。空氣帶與尖端上同類之電；被排斥而向遠處流散，新鮮空氣隨即補充空間，如是週而復始。排斥之電向遠處流散，逐漸消失；而尖端上即產生一種氣流。這樣的現象，謂之電之對流。而此種作用，謂之尖端作用。

【電之熱功當量】（Mechanical equivalent of heat of electricity）

在導體中流過的電流，會使該導體發熱。茲假定電流所作的功完全變爲熱W，亦可依其發生的熱W來表示電流所作的功。在力學中，功與

熱的換算因子稱爲力的熱功當量，其值爲427仟彭米，即427仟彭米的功可轉換爲1仟卡的熱。至於電流所作的功，其在實用制中的表示式則爲

$$A_{仟彭米} = 0.102\,U \times I \times t \text{（仟彭米）}$$

因每427仟彭米才能得1仟卡的熱

$$W_{仟卡} = \frac{A_{仟彭米}}{427} = \frac{0.102}{427}\,U \times I \times t \text{（仟卡）}$$

或以卡表示之如下

$$W_{卡} = 0.24\,U \cdot I \cdot t \text{（卡）}$$

因子0.24稱爲電之熱功當量。

又有下列兩種表示法：

1瓦特秒＝0.24卡

1仟瓦秒＝0.24仟卡

在實驗上，電之熱功當量可以浸漬放熱器測定之。即量度水量M，實驗前的水溫T_1，實驗後的水溫T_2，通電時間t，電流強度I及浸漬放熱器兩端的電壓U。如此，則電的熱功當量$=\dfrac{M(T_2-T_1)}{U \times I \times t}$。

【電化當量】（Electrochemical equivalent）

以強度一安培之電流通於電解質內，t秒後分解之量爲m克，此電流一秒間所分解之電解質爲$\frac{m}{t}$克，是謂電解質之電化當量。亦即電解時，一庫倫電量所析出的化學物質之質量。如氫的電化當量是0.00001036克，此數字乘以任何其他物質的克當量數，即可得該物的電化當量。

【電介質】（Dielectric）

電介質是電導性（*conductivity*）比金屬體低的物體。金屬內有自由電子，這些電子在外加電場的作用下，能夠運動而產生電流，所以導電性甚佳，電場強度在金屬內近乎零。電介質是沒有自由電子的，所有的電子都局限在母體分子內，外加適度的電場只能使分子內的正負電

荷往相反的方向位移；這位移的大小通常比一原子的直徑小。換句話說，外加電場使該電介質極化，因極化而產生的電場將與原先的電場抵銷掉一部分，故電場強度在電介質內會變小。

【電介質波導】(Dielectric wave-guide)

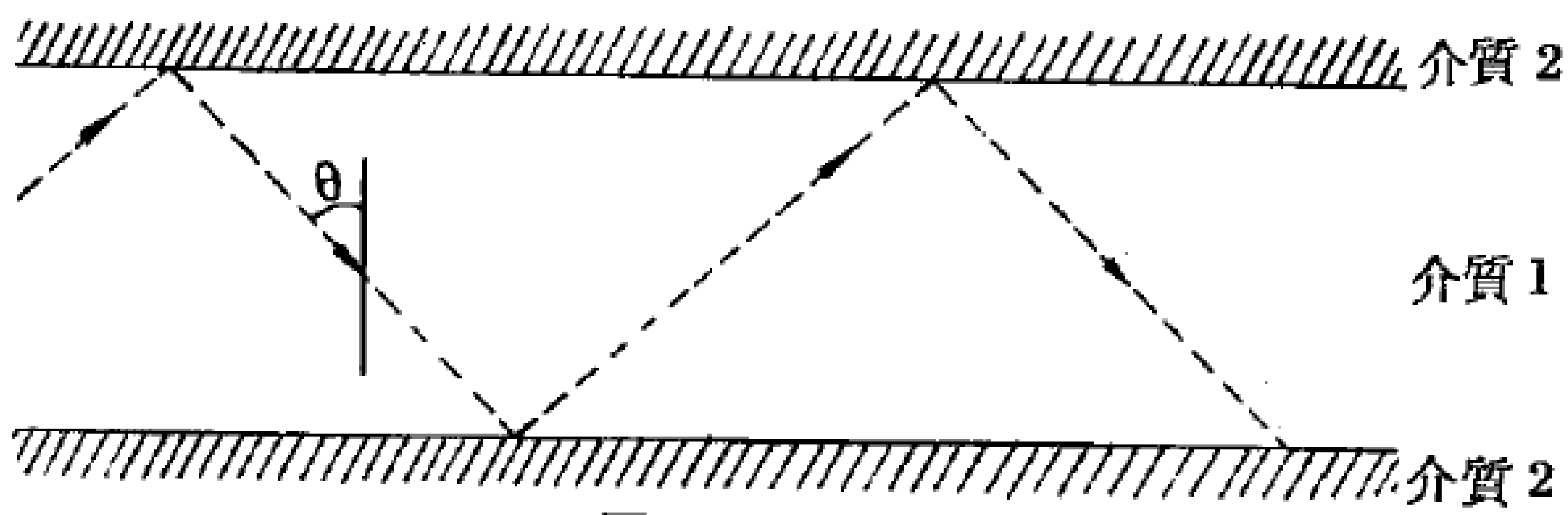


圖 13— 214
平面波於矩形波導中前進路徑

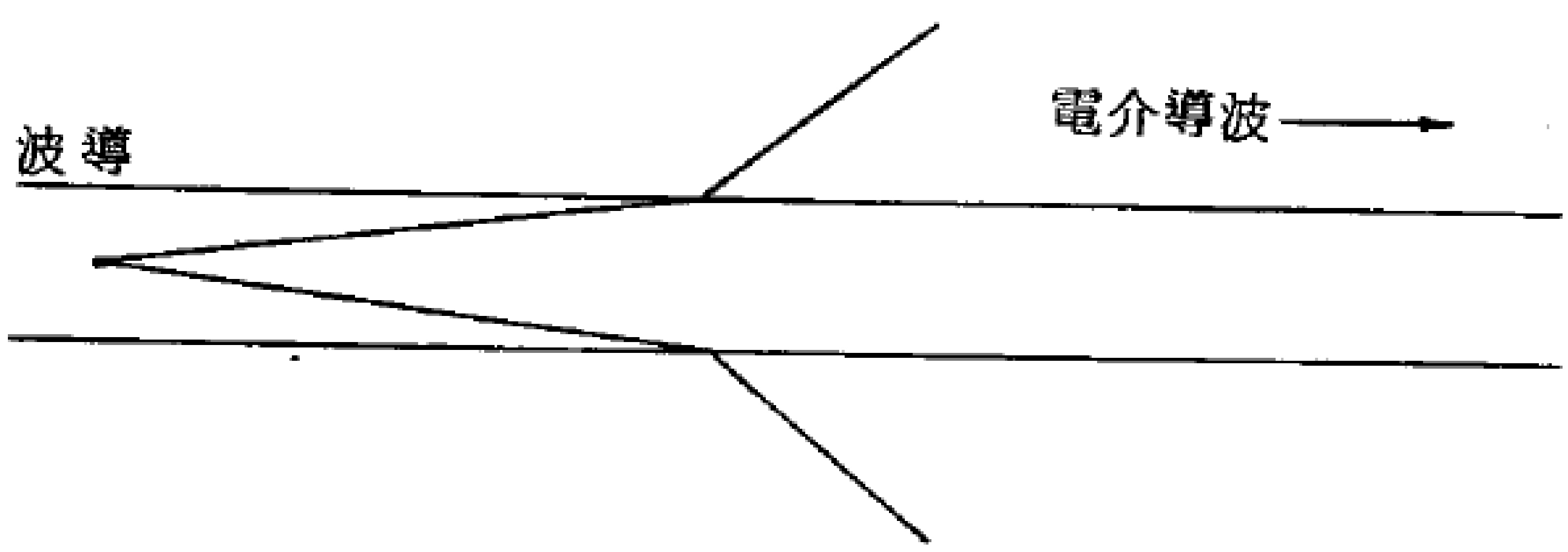


圖 13 — 215
桿形波導的激態

平面波於矩形波導(*rectangular guide*)中會在上下之間反射如圖 13 — 214所示，由此可知在某種情況下，在一完美的電介板 (*dielectric slab*)而無金屬邊界(*metal boundaries*)一個波能毫無能量損失地被導向前。如果平面波於電介質中以某種方式激勵，而 $\theta > \theta_c$，其中

$$\theta_c = sin\sqrt{\mu_2\epsilon_2 / \mu_1\epsilon_1}$$

則所有能量將在板中保留。如板厚度與波長比較起來還小，則波將折射入電介質中，如圖 13—215所示。

【電介質破壞】(Dielectric breakdown)

當外加電場的強度大到某程度時，導電性大增；亦即電場強度在電介質內不再減弱，於是電介質的“介電”功用消失，是謂之電介質破壞。例如，強度高達 10^6 伏特／厘米的電場會使以晶體形態存在的鹼金屬鹵化物產生電介質破壞。

簡單地說，電介質破壞的原因，就是在極大的電場作用下，電介質中的電子已有足夠的能量，脫離母體分子的束縛，自由移動而導電。電場較小時　電介質中的電子局限在母體分子裏而只有極化的現象，不能自由移動，故導電性極小。

【電介質強度】(Dielectric strength)

電介質能耐之最高電壓值，平常以 1 mm 厚度的電介質能耐的電壓爲基準。

【電介質漏洩】(Dielectric leakage)

電介質內發生電流的現象，原因是任何電介質對於電流都具有一些導電性。也就是說，電介質的電阻率並不等於無窮大，即使很大，但總是有一個限值。因爲電介質洩漏電流引起電介質發熱和能量損耗，所以電介質洩漏越少，就越適用於作爲絕緣材料及電容器極片間的誘電材料。

【電平】(Level)

分貝就是信號電平大小變動的單位。

【電平過荷】(Overload level)

能使工作停止，信號失眞，過熱及損失等。

【電功率】(Electric power)

電流單位時間內在電路中所消耗的能量。直流電路中，電功率 P 就等於電壓與電流的乘積。

$$P = V \times I$$

若 V 的單位是伏特，I 是安培，則 P 爲瓦特。電功率最常用的單位是仟瓦（＝1,000 瓦特）。利用歐姆定律

$$I = V / R$$

我們亦可將 P 寫爲

$$P = V^2 / R = I^2 R$$

如果電流和電壓均隨時間變化，則須定義瞬時電功率和平均電功率。瞬時電功率是瞬時電流與瞬時電壓的乘積。平均電功率定義較為麻煩，假設一純電阻通過頻率為 f 的諧和電壓 V，則電流將完全隨電壓而變（見圖 13— 216(*a*)）。瞬時電功率是該時刻的 $V \times I$ 值，電功率變化圖也是諧和波，但其頻率則為 V、I 頻率的兩倍，其極大值為 $V_{max} I_{max}$，極小值為 0（V_{max} 和 I_{max} 表示電壓和電流的極大值）。此時，平均電功率時 $V_{max}I_{max}/2$，即有效電壓 $V_{max}/\sqrt{2}$ 與有效電流 $I_{max}/\sqrt{2}$ 的乘積。

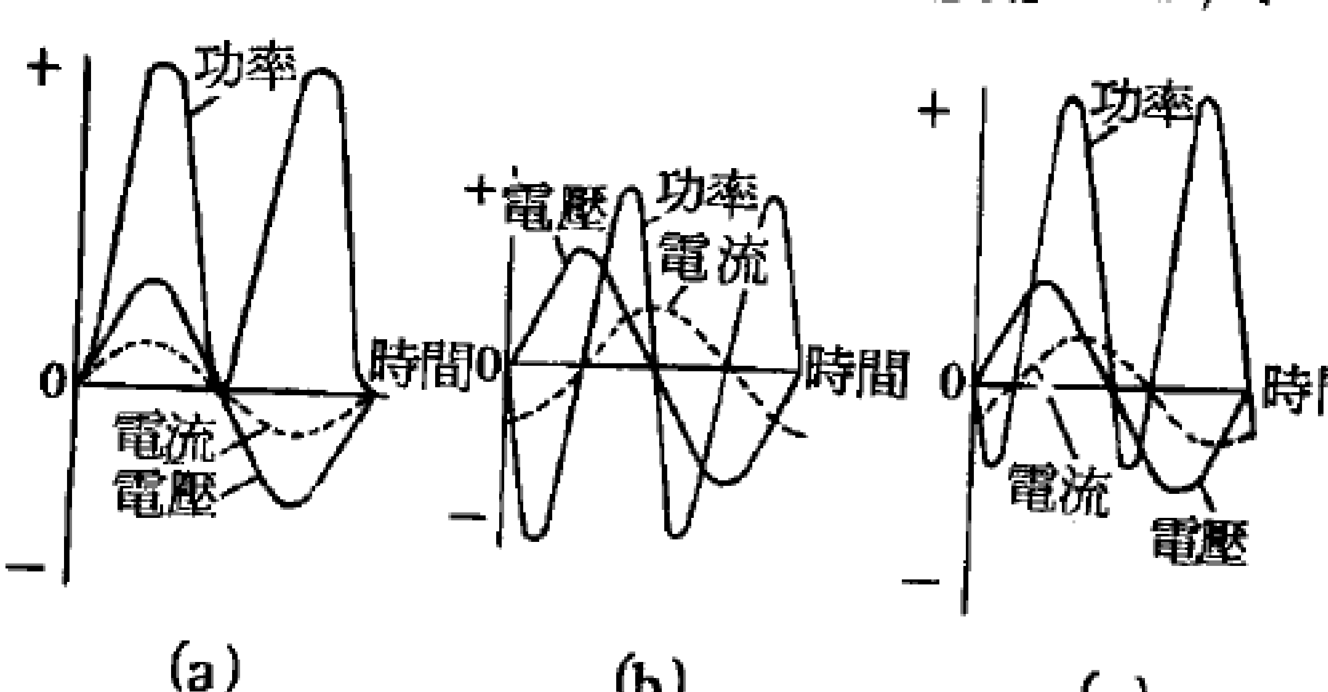


圖 13— 216

若諧和電壓通過純電感器，電流的相位將落在電壓之後 90°（見圖 13 — 216(*b*)）。其電功率在前半週期是負波，後半週是正波，因此平均電功率為零。其物理意義是電能先儲存在感應器磁場中，隨後又還給電路。在電容器的情形除電流是領先電壓 90°外，結果均與前同。

通常一電路中含有各種電阻、電感和電容的組合，所以，電流將領先或落後電壓 0°至 90° 間的任何相位角（見圖 13— 216(*c*)），此時平均電功率可由

$$P_{ave} = \left(\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}\right) \cos\theta$$

求之，θ 是 I 與 V 間的相位差。$\cos\theta$ 稱為功率因素。

【電四極矩】（Electric quadrupole moment）

通常，原子核的電荷分佈對其質心為對稱，故其電偶極矩為零。如果電荷分佈為繞軸旋轉而成的橢圓球，則有電四極矩，其量為

$$Q = \frac{1}{e} \int \rho(\vec{r})\,(3z^2 - r^2)\, dV$$

$\rho(\vec{r})$ 是電荷密度，Z 軸是對稱軸。如果電荷分佈爲球形對稱時 $Q=0$；若分佈在 Z 方向伸長，四極矩爲正，則核爲長形；四極矩爲負時，則核爲扁平形。故由電四極矩可知原子核的電荷分佈（亦即形狀）情形。

【電池】（Cell）

由化學作用，使導線兩端間保持一定的電壓以發生電流，或變化學能爲電能的裝置，稱爲電池。電池的構造分爲電極、電路兩部分：

1.電極（*electrode*）——用以供應電能，而置於電池之兩種不同的導體。置電極於電解質溶液中，此溶液必須與其中的一極（板）起化學作用。此種極即正極或負極。

(1)正極（板）（*positive electrode or plate*）——帶正電，即與溶液略起或不起化學作用之導體，其電位較高。

(2)負極（板）（*negative electrode or plate*）——帶負電，與溶液起化學作用甚烈之導體。

2.電路（*electric circuit*）——兩極連接以導線與電解液合成之環路。又可分外電路和內電路：

(1)外電路——電池兩極間的導線。

(2)內電路——電池內兩極間的電解液。

電池之種類：

1.依電解質溶液分

(1)濕電池（*wet cell*）又可分爲①單液電池如伏打電池。②兩液電池如丹尼耳電池（*Daniell cell*）、勒克朗社電池（*Leclanche cell*）……。

(2)乾電池（*dry cell*）：由勒克朗社電池改製而成。

2.依用途分

(1)實驗用（標準電池）如衞司吞電池（*Weston cell*）、克拉克電池（*Clark cell*）。

以上皆爲原電池。

(2)實用電池又可分①原電池(*primary battery*)，即僅能將原有化學能變成電能而不能重生的電池。②蓄電池（ *storage battery* ）即兼可充電與放電且可以重生的電池。

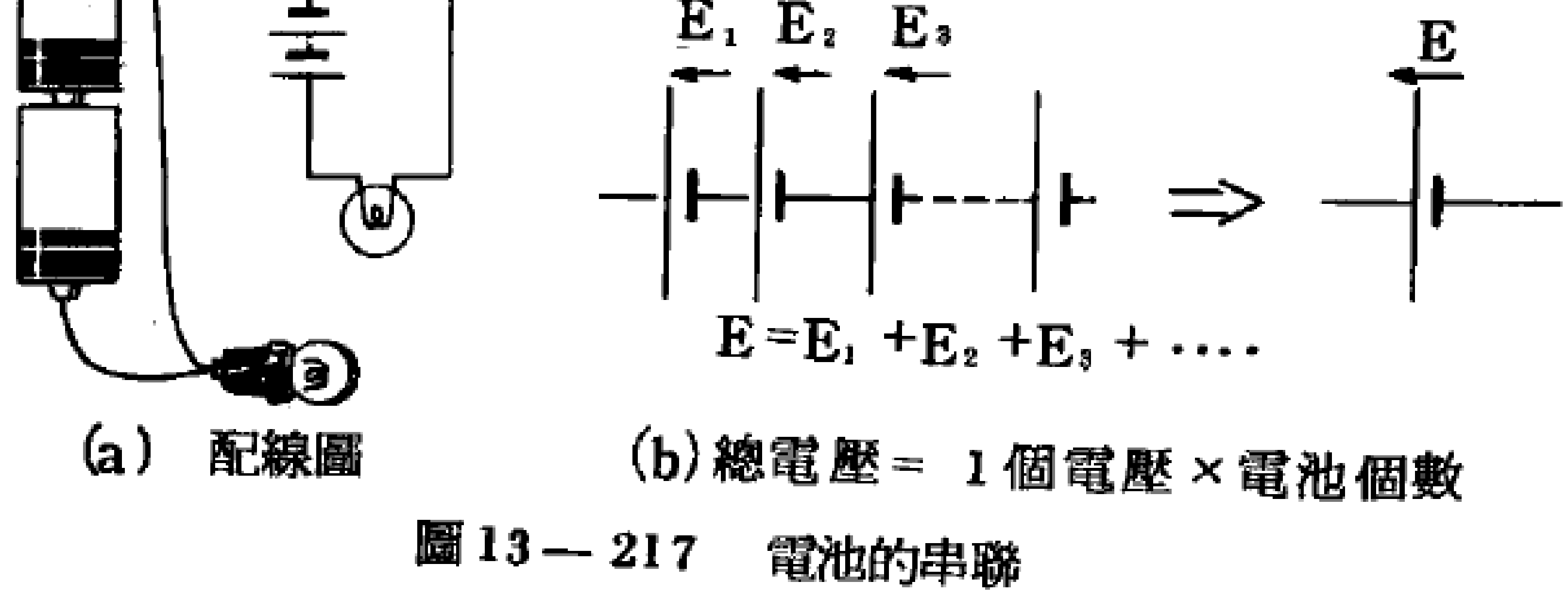
電極電位（ *electrode potential* ）爲電池在斷路狀態，兩極對離子、游子之作用平衡化學作用停止時之電位差。即電池之電動勢(*e.m.f.* ）。一個乾電池的電壓（電動勢）約爲 1.5 *V*，一個鉛蓄電池的電壓約爲 2 *V* 。其端電壓（ *terminal voltage* ）爲電池兩極間的電位差；斷路時等於電池之電動勢。通路時，因電池內阻之壓降，故端電壓小於電動勢。

電池供給電路中電荷在其中運動一切能量。電路中的電池推動電荷使其流過電路上的每一部分。以 ——┤├—— 表示，長線代表正極，短線代表負極。

【電池之連結法】(Connection of cell)

電池之連結有串聯、並聯及串聯與並聯同時使用的混合連結等。

1.串聯（ *series connection* ）——如圖 13—217 ，順序以一電池之陽極，與他電池之陰極相連結。



(a) 配線圖 (b)總電壓= 1個電壓×電池個數

圖 13 — 217 電池的串聯

串聯時電動勢等於其所有電池電動勢之總和。令電池數爲 n，其內電阻均爲 r，電動勢均爲 E，而外電阻爲 R，電流之強度爲 I。則全電動勢爲 nE，全內阻爲 nr，電路之全電阻爲 $nr+R$，故

$$I = \frac{nE}{nr + R}$$

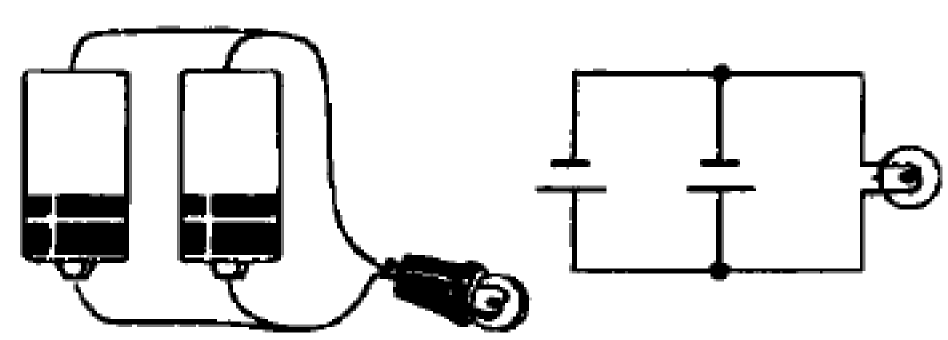
可知若 r 甚小，則 I 甚大，卽內電阻小之電池，用此法連結，可得較大之電流。

2.並聯（*parallel connection*）——如圖 13－218，將各電池之陰極與陰極，陽極與陽極連於一處，再以一導線連之。

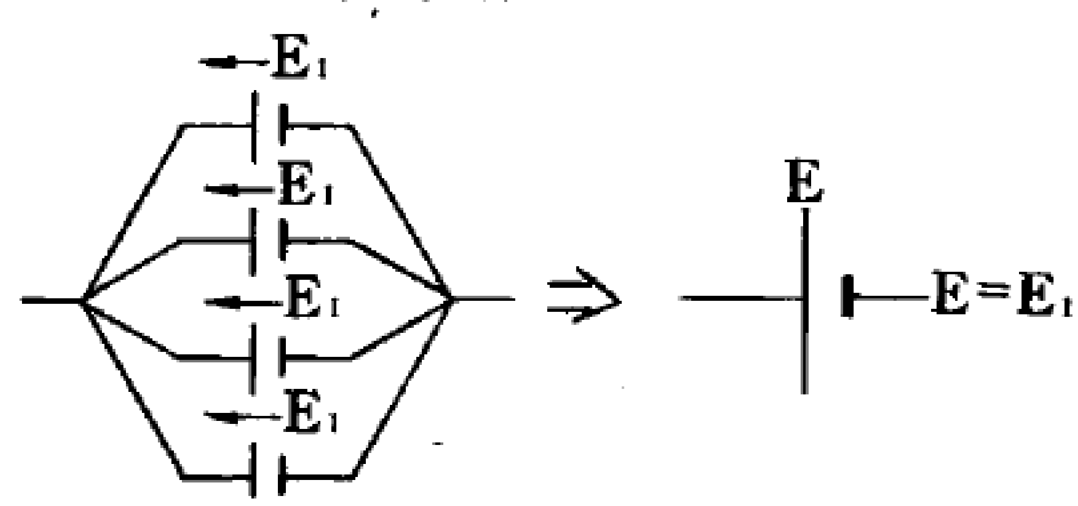
同樣的電池並聯時其電動勢等於單一電池之電動勢，小燈泡的亮度也與用一個電池時一樣，不過可比一個電池用得久些。全電動勢仍爲 E，而全內電阻爲 $\frac{r}{n}$，電路之全電阻爲 $\frac{r}{n} + R$，故

$$I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R} = \frac{nE}{r + nR}$$

可知內電阻大時，用此法可得較大之電流。並聯連接時，每一個電池所分擔的電流較小，所以適合於要較大電流時之用。卽電池也有它能流通的電流之限度，如流過比其允許的限度更大的電流時，電池要受到傷害。這種情形時，用並聯卽可。



(a) 配線圖



(b)總電壓 = 1 個電池的電壓

圖 13 — 218　電池的並聯

例如，需流動 1 A 的電流時，所使用電池，每一個的最大電流如爲 200 mA，則用同樣的電池 5 個並聯卽可。在這種情形，每個電池的電壓如不相同，則有電流由電壓高的電池流向電壓低的電池，而浪費了電池。

3.混合連結（*multiple connection*）——混合連結法如圖 13－219，以若干個電池串聯成若干組，再將此多組之電池並聯之。具有串聯與並聯的長處，可將電流加大，電壓增高。

混合連結時，若以n個電池中之p個，串聯之使成

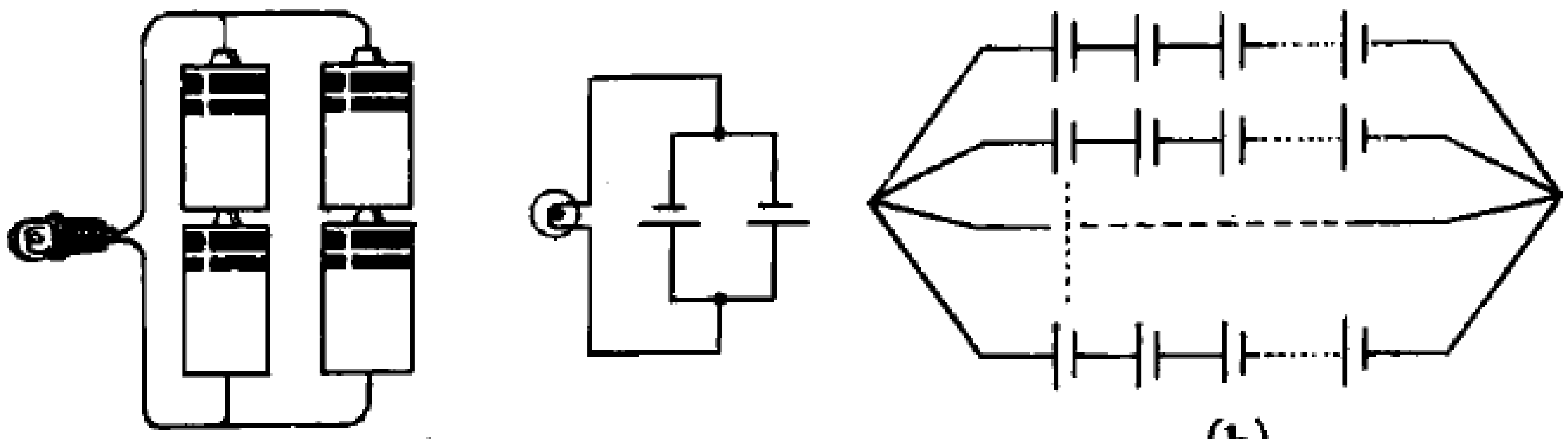


圖 13—219　電池的混合連結

q組，復將q組並聯之，則其全電動勢為PE，全內電阻為$\frac{p}{q}r$，電路內全電阻為$\frac{pr}{q}+R$，故

$$I=\frac{pE}{\frac{pr}{q}+R}=\frac{pqE}{pr+qR}\quad(pq=n)$$

由此式視r、R之值何如，以定p、q之數，則可得最大之電流。

【電池之偏振】(Polarization of cell)

關閉電池之電路時，所發生之氫，其一部分常起化學作用附著於銅板面，氫為電之不良導體，故氫附著多時，電流次第減弱，此種現象謂之電池之偏振。

【電池之電阻】(Resistance of cell)

電池內部亦為電路之一部，故與導線同，對於電流，亦呈電阻作用，電池之電阻，與兩極金屬之距離成正比例，而與浸入液中極板之面積成反比例，下為通用電池之電阻：

丹尼耳電池	2.8至1.5歐姆
本生電池	0.28至0.4歐姆
勒克朗社電池	1歐姆

電池之電阻，又謂之內電阻。

【電池組】(Battery)

用以產生成貯存電能的一組化學電池，稱為電池組。係由原電池或

蓄電池連結成的一個組合體。

其主要部分爲容器、電極和電解液。電極通常爲金屬或碳板，浸於電解液中；電流流出電池之極稱爲陽極（正極），進入電池之極稱爲陰極（負極）。凡電池的化學程序在操作上爲不可逆者，稱爲原電池（*primary cell*），可逆者（即能行充電者）稱爲蓄電池（*secondary cell*）。 在通路中電池兩極之間的電位差，與電池的內電阻和線路的外電阻有關，其關係式爲

$$V = \frac{ER}{R + r}$$

式中V爲電池兩極之間的電位差，E是電池的電動勢，R是線路上的外電阻，r是電池的內電阻。

連結方法通常是串聯，有時也用並聯或混聯。採用某種連結方法爲的是要從電池組獲得所需的電壓（串聯）或電流強度（並聯）。工業中生產著現成的燈絲電池組或屏極電池組，這些電池組由原電池或蓄電池串聯而成。燈絲電池組是用來使電子管的陰極加熱，屏極電池組則用來向電子管屏極供給正的電壓。因爲屏極電源所要求的電壓通常高於一個電池所能供給的電壓，所以屏極電池組是由好幾個電池串聯起來的。柵極電池組（偏壓電池組）用來供給電子管柵極上的負電壓（偏壓）。因柵極電池組的電壓並不很大，通常由數目不多的乾電池組成。

【電池比重計】（Battery hydrometer）

一種刻有分度的浮子，用以測量蓄電池內電解液的密度，電池充電的多少，與密度成正比。

【電池極性】（Battery polarity）

電池流出電流的方向，爲原電池之正連接處。正極（陽極）是銅質或碳質電極，通常正極上塗有明顯的紅色。

【電共振】（Electric resonance）

所謂電共振，即是說電流輸出的電流與其電壓同相。換言之，功率係數等於 1，於 $R-L-C$ 串聯電路中，其有效電流為

$$I=\frac{V}{\sqrt{R^2+(\omega L-1/\omega C)^2}}$$

$$=\frac{V}{\sqrt{R^2+(X_L+X_C)^2}}$$

如果頻率剛好等於 $\omega L=\frac{1}{\omega C}$，亦即

$$\omega=\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

則阻抗是純粹的實數，故無相位，因此電流與電壓同相，此時

$$I_0=\frac{V}{R}$$

此即串聯共振，因此於電共振時，阻抗最小，使有效電流達到最大，而跨於各段電路的電位降為

$$V_R=RI_0=V$$

$$V_L=iX_LI_0=i\left(\frac{X_L}{R}\right)V$$

$$V_C=iX_CI_0=i\left(\frac{X_C}{R}\right)V$$

故 $$V_L+V_C=0$$

如果共振時 $R-L-C$ 的電壓源是

$$V(t)=V_m\sin\omega_0 t$$

則電流與電壓同相，故

$$i(t)=\frac{V_m}{R}\sin\omega_0 t$$

因此電容器的瞬時端電壓為

$$V_C(t) = -\frac{V_m}{RC\omega_0}\cos\omega_0 t$$

瞬時儲存於電路的能量即

$$W(t) = W_M(t) + W_E(t)$$

$$= \frac{1}{2}Li^2(t) + \frac{1}{2}CV_C^2(t)$$

$$= \frac{1}{2}\frac{LV_m^2}{R^2}\sin^2\omega_0 t + \frac{1}{2}\frac{V_m^2}{\omega_0 CR^2}\cos^2\omega_0 t$$

$$= \frac{1}{2}\frac{LV_m^2}{R^2} = \frac{1}{2}\frac{V_m^2}{\omega_0^2 CR^2}$$

$\frac{LV_m^2}{2R^2}$ 是電路內可能儲存的最大磁能，而 $\frac{V_m^2}{2\omega_0^2 CR^2}$ 則是最大可能的電能，而$W(t)$式指出任何瞬間電路總共儲存的能量保持不變，由上面式子可知共振時電容器內的電流及電位降，剛好相差$\frac{\pi}{2}$，故電容器電位差最大時，則電流降為零。當電容器沒有電位差時，則電流最大。因此當電場的電能儲存最多時，磁場的磁能為零；相反地，當磁場的磁能儲存最多時，電場的電能為零，而任何瞬間兩者的和總保持定值，如圖 13—220所示。

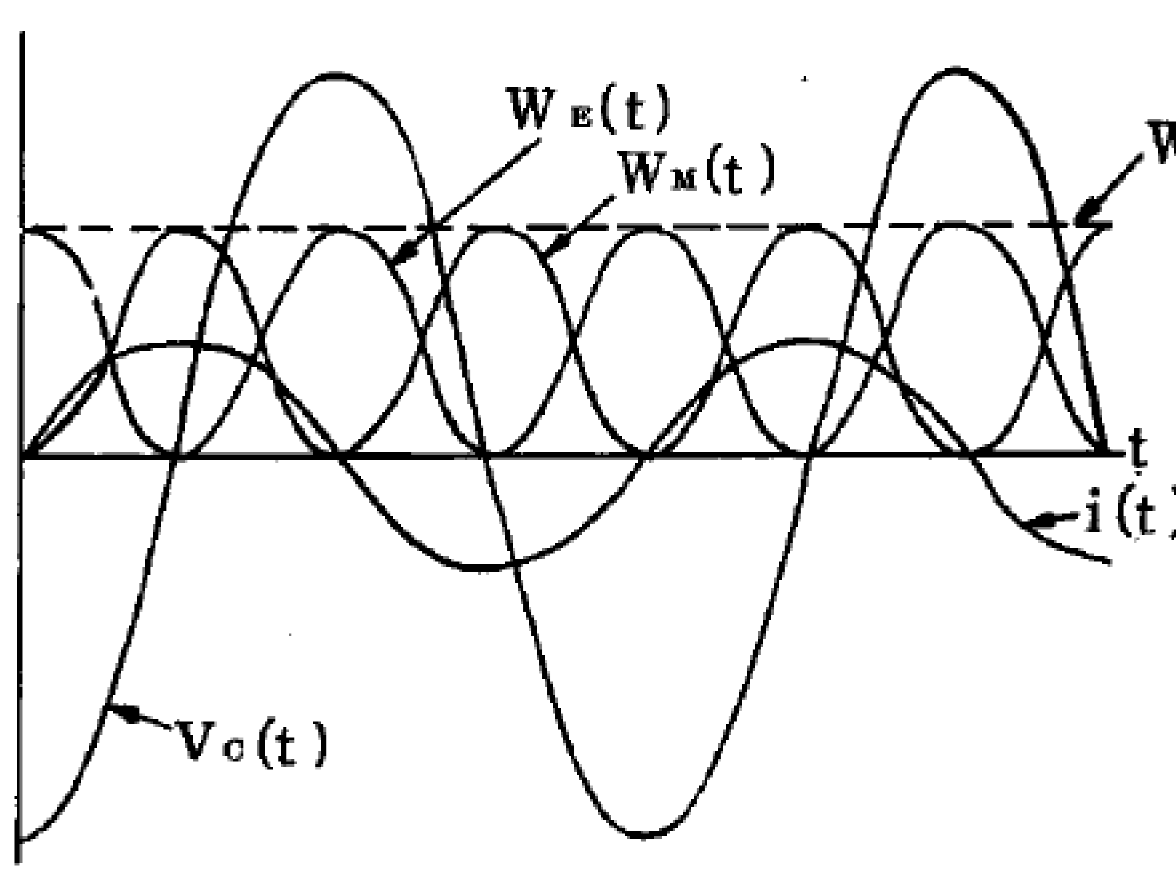


圖 13—220 電共振時瞬間電流、電壓及能量的關係。

【電多極】(Electric multipole)

於球坐標系原點的點電荷 q 之場可由下列式子表示出

$$\vec{D} = \frac{q}{4\pi r^2}\vec{a_r}$$

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2}\vec{a_r}$$

$$\phi = \frac{q}{4\pi\epsilon r}$$

第二個點電荷 q' 由 q 的場將受到一力

$$\vec{F} = q'\vec{E} = \frac{qq'}{4\pi\epsilon r^2}\vec{a_r}$$

上式即庫倫定律，由此可知於 $r = 0$ 時點電荷的場將爲無限大，因此一個點電荷引起零階特性（*zero-order singularity*），另外的電荷結構引起高階特性，首階特性由電雙極引起，而高階特性由電多極（點電荷有秩序排列的）的高階所引起的。

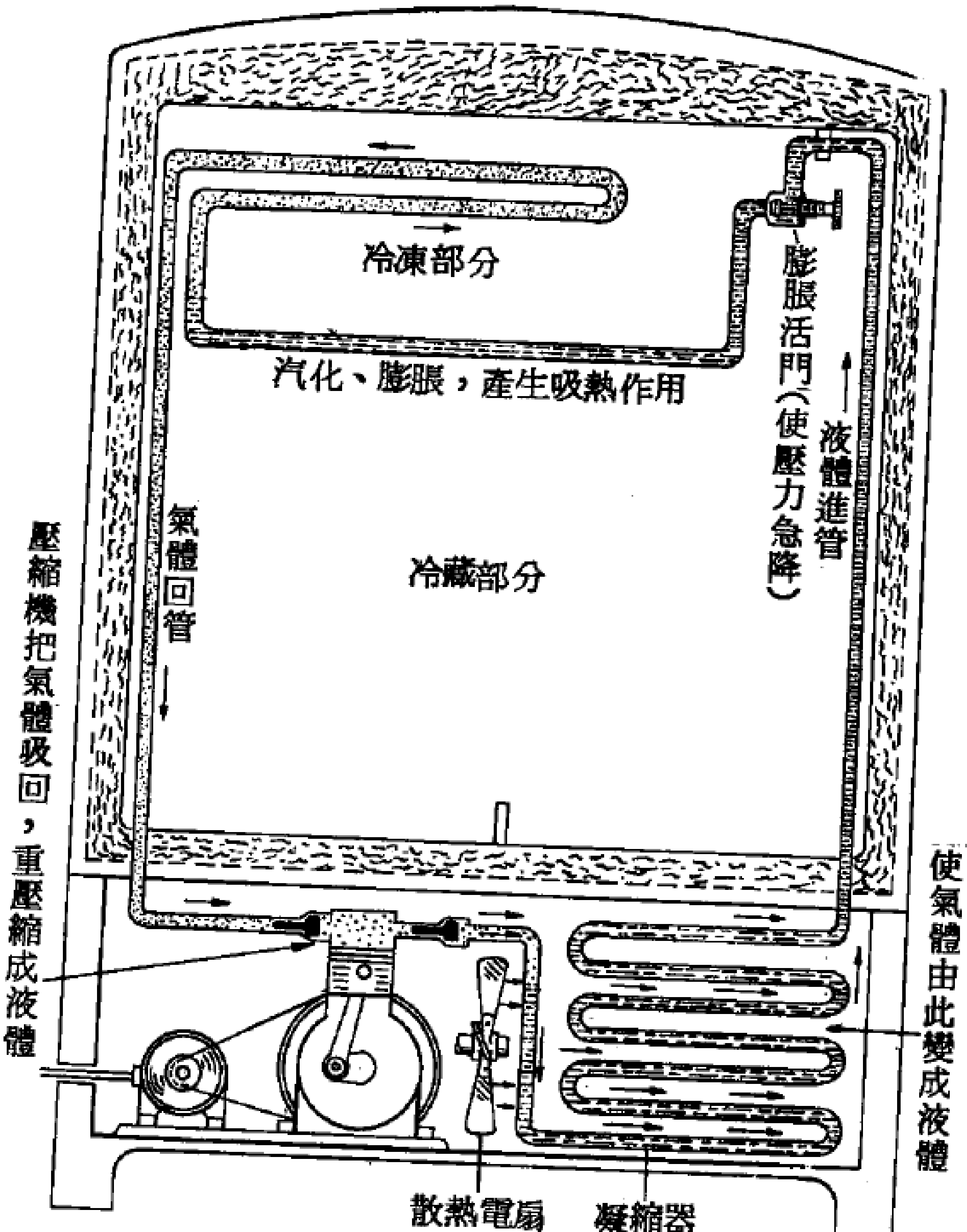


圖 13 — 221
電冰箱的構造說明

【電冰箱】（Refrigerator）

電冰箱乃是利用高壓，將氨或其

他氣體壓縮冷凝成液體。然後減少壓力，使這液體重又汽化爲氣體，並繼續絕熱膨脹。因此吸收大量的熱量並降低溫度，使得箱中食物冷凍和冷卻。汽化後再用電動的壓縮機，重將這氨氣吸回。再壓縮冷凝成液態氨。壓縮氣體時所產生的熱量利用通風設備送來的空氣帶走。如此週而復始，循環不已。（圖 13 — 221 示電冰箱的構造）

現代連續的冷藏法包括了循環地應用冷卻過程及冷卻劑來冷卻其他的物質或物體。一種典型的冷藏循環方法如圖 13—222 所示，其過程有下列四步驟：

1. 在一絕熱過程中，應用約束 (*constraint*)，即壓縮相 (*compression phase*) 來加熱做功資料 (*working substance*)。

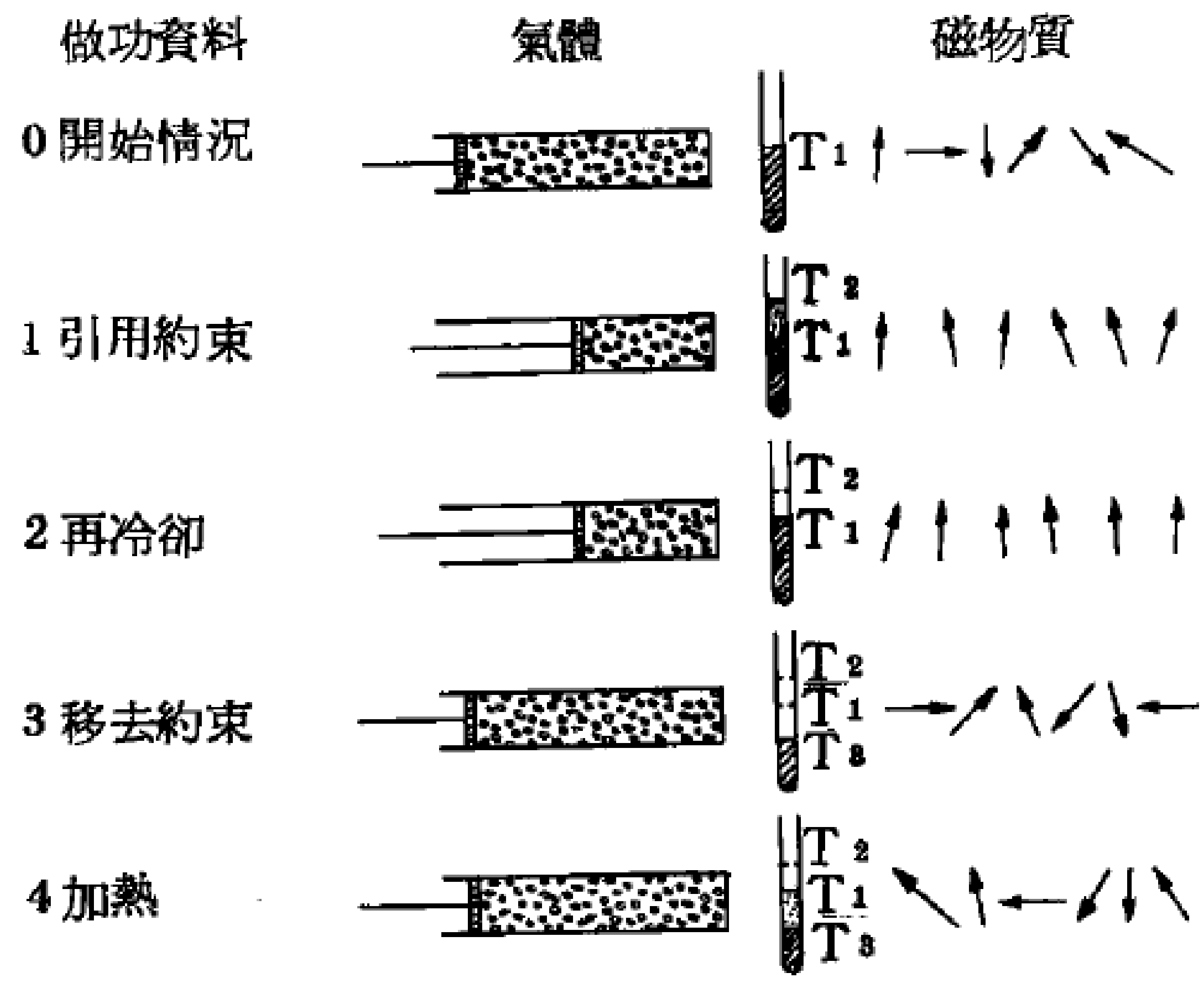


圖 13 — 222
這是所有冷凍循環所需要的步驟（左邊）和對應的絕熱去磁原理

2. 不移去約束，利用做功資料在某一固定點和大量熱源間溫度的平衡來提高做功資料的溫度。

3. 在此絕熱過程中，移去膨脹相 (*expansion phase*) 之約束，結果做功資料會自動地冷卻下來。

4. 利用已冷卻的做功資料和將予冷卻的材料間溫度的平衡來降低材料的溫度。

普通家用的電冰箱，冷卻劑是用二氯二氟代甲烷 (*freons*) 中的一種較安定、無毒的氟化碳 (*fluorocarbons*)。第一步先將二氯二氟代甲烷加壓，第二步在常溫時於凝縮器中變成液體，第三步是在汽化器中

減壓使其降低溫度，然後第四步使冰箱內部溫度降低。

【電車】（Tramcar ; Streetcar ）

電車係將電動機裝於車體下層，電樞的軸上附有齒輪，和車軸的齒輪相連接而成。由發動機令電流經架空導線而入電動機，再由軌道流回。電車前部有電阻箱以節制電流的強度。當電樞轉動，電車即可前進。

【電抗】（Reactance）

電抗之符號爲X。具有諧和電流和電壓（同頻率）的某部分電路之電抗爲該部分的有效電流（$I_{max}/\sqrt{2}$）與有效電壓（$V_{max}/\sqrt{2}$）之比值，乘以兩波相位差的正弦值之積。此時假設該部分電路中，不含電源。

電路中交流電每一頻率分量的電抗均不同，若

$$e = E_{1m}\sin(\omega t+\alpha_1)+E_{2m}\sin(2\omega t+\alpha_2)+\cdots$$

$$i = I_{1m}\sin(\omega t+\beta_1)+I_{2m}\sin(2\omega t+\beta_2)+\cdots$$

則分量電抗X_1，X_2，……等分別爲

$$X_1 = \frac{E_{1m}\sin(\alpha_1-\beta_1)}{I_{1m}}$$

$$X_2 = \frac{E_{2m}\sin(\alpha_2-\beta_2)}{I_{2m}}$$

通常電抗的定義是阻抗的虛數部分。例如一複數阻抗是

$$Z = R + jX$$

上述二定義事實上同義。

電容器的電抗爲

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \qquad （C爲電容）$$

電感器的電抗爲

$$X_L = 2\pi fL \qquad （L爲電感）$$

電阻器的電抗則爲零。

如果電容器與電感器串聯，則總電抗爲$X_L - X_C$。

【電抗成分】（Reactive component）

阻抗常包括電阻及電抗兩成分，電抗成分是指容抗或感抗部分。

【電抗降】（Reactance drop）

電抗在交流電通過時，亦有降壓的作用。

【電抗負荷】（Reactance load）

指負荷的性質屬感抗或容抗者。

【電抗功率】（Reactance power）

跨於電容C上電流、電壓之關係爲

$$i = C\frac{dv}{dt}$$

若$v = V_m \sin\omega t$，$dv = (V_m \cos\omega t)\omega dt$

則 $$i = C\frac{(\omega V_m \cos\omega t)dt}{dt} = \omega C V_m \cos\omega t$$

$$= \omega C V_m \sin(\omega t + 90°)$$

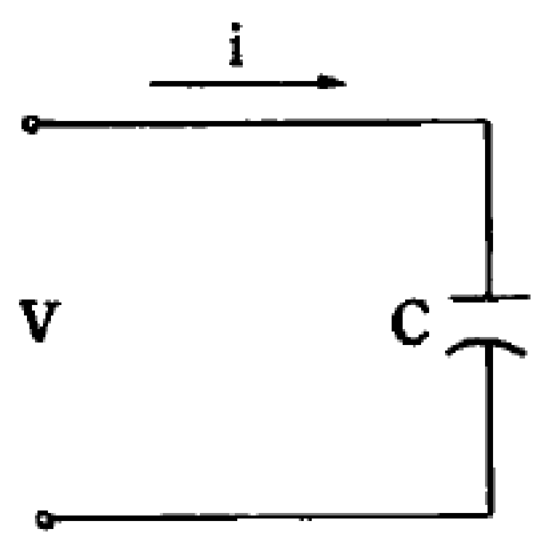
圖 13— 223 即表示此關係。

上式中 $\omega C V_m = I_m$

$$i = I_m \sin\omega t$$

$$\frac{I_m}{V_m} = \omega C = B_C$$

而$X_C = -\dfrac{1}{B_C} = -\dfrac{1}{\omega C} = -\dfrac{1}{2\pi f C}$



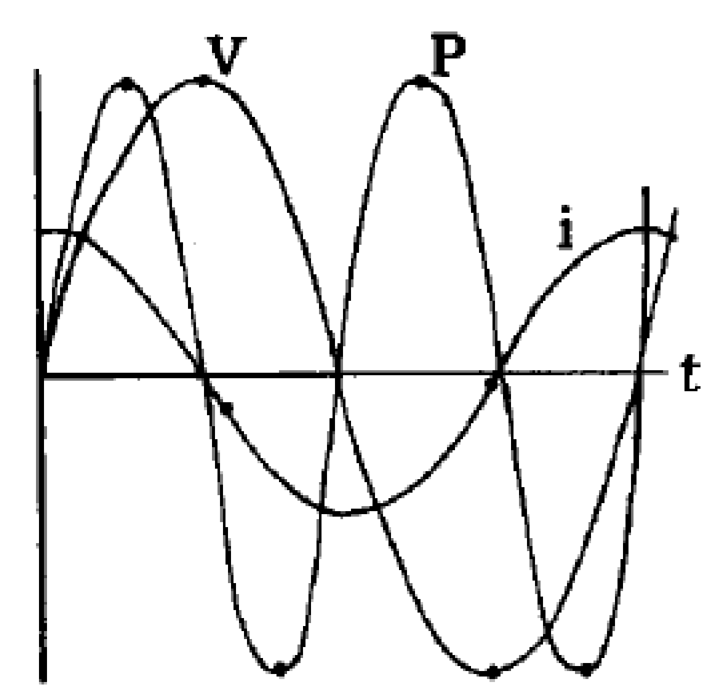


圖 13 — 223
電流、電壓和功率於一電容電抗的關係。

而輸入電容的功率是

$$P = vi = (V_m \sin\omega t)(I_m \cos\omega t)$$

$$= V_m I_m \sin\omega t \cos\omega t$$

$$=\frac{V_m I_m}{2} \sin 2\omega t$$

平均功率是半週電壓波形曲線下的平均面積，若 $\omega t = \theta$

$$P=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} v\,i\,d\theta =\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\frac{V_m I_m}{2}\sin 2\theta\, d\theta$$

$$=\frac{V_m I_m}{2\pi}\left[-\frac{\cos 2\theta}{2}\right]_0^{\pi}$$

$$=\frac{V_m I_m}{4\pi}\left[(-\cos 2\pi)-(-\cos 0)\right]=0$$

此即電容電抗的平均功率爲零，同樣地，電感電抗的平均功率亦爲零。

【電抗電子管調制器】(Reactance tube modulator)

爲了產生頻率調制(調頻)，射頻振盪器之頻率隨聲頻調制信號電波變化而變。爲達此目的，最好的方法就是藉電抗電子管調制器完成。此調制器的基本電路以及頻率調制振盪器所構成的輸入電路，如圖 13 — 224 所示。

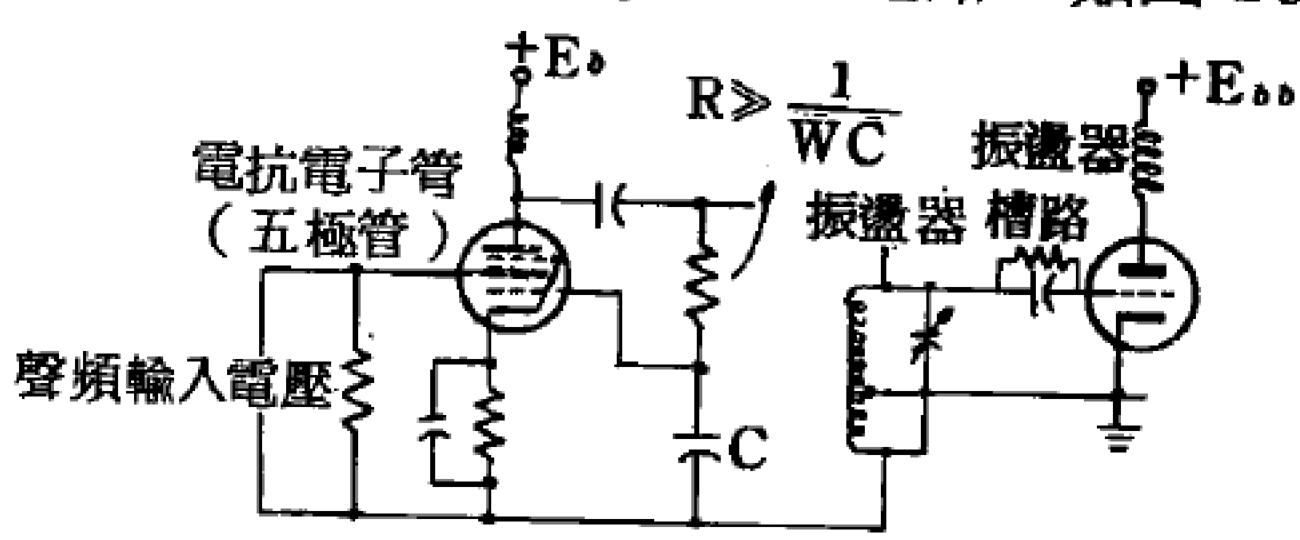


圖 13 — 224
電抗電子管之頻率調制振盪器

一交流分壓器 R - C 跨接在五極管的屏極與陰極間，並與振盪器的槽路並聯。分壓器之中間接點與五極管的控制柵相連接(圖 13 — 224)。分壓器電阻 R，較電容 C 的容抗大，並且所選擇的電阻 R 及電容 C 都很大。當電容 C 的容抗與電阻 R 相比時，容抗可忽略不計，因此通過分壓器的電流，就實用上說，是與槽路的端電壓同相。然而通過電容器的電流，其相位永遠是比此電容的端電壓越前 90 度， 即端電壓較通過電容器的電流滯後 90 度。 電容器 C 的端電壓爲五極電子管控制柵的輸入電壓，因此電壓較流過電容器 C 的電流滯後 90 度。 由於屏極電流與控制柵電壓相同，因此五極管的射頻屏極電流也必較通過電容器 C

的電流滯後 90 度， 也就是較振盪器槽路端電壓滯後 90 度。 這種效果與槽路兩端加一電感所造成的情況相同。此一並聯等值電感減低了槽路的總電感，而使振盪頻率增高。

爲了達成頻率調制，必須使振盪器槽路的振盪頻率，隨聲頻調制信號電波的波幅而變。如果電抗電子管的相位滯後的屏極電流越大，槽路的等效並聯電感必定也越大，因此振盪器的振盪頻率也就越高。電抗電子管的屏極電流波幅，完全受加於其簾柵的聲頻調制信號輸入電壓的控制。顯然，此屏極相位滯後的電流，直接隨加於簾柵的電壓而變，因而槽路振盪頻率也與加於五極管簾柵的聲頻調制電壓成正比，如此始可達成頻率調制。

受頻率調制的振盪器，通常都作用於相當低的頻率，這是爲了得到穩定的載波頻率。振盪器的輸出頻率，經數級倍頻器（*frequency multiplier*），以達所需的載波頻率。只要調節射頻放大器的屏極調諧電路，就可得輸入信號頻率二倍或三倍的輸出信號頻率。已調制的振盪器輸出頻率，經倍頻器倍增後，頻率偏差數也隨頻率的增加而以同樣的比例增加。如 12.5 兆赫的振盪器輸出頻率，倍增後成爲 100兆赫載波的頻率，如果振盪器輸出頻率偏差爲 24 仟赫，如今則爲 16仟赫。由此事實，所以將電抗電子管調制器與低頻率的晶體振盪器連接，可得到極佳的穩定振盪頻率。電抗電子管對影響晶體的頻率變化卻非常小，可能小於一週（360度）。當此頻率變化小於一週所得的效果，就是引起電波相移。此種調制，稱爲調相（*phase modulation*），而非調頻。此兩種調制其實是相同的。晶體振盪器調相，非常容易轉換爲調頻，只需將晶體頻率倍增就可得到。因此，經過若干級頻率二倍器或三倍器就可得到所需之頻率偏差數。

【電抗管】（Reactance tube）

若設計一電路，使其中的電子管接收來自送話器的聲頻信號，由於

聲頻信號的頻率及波幅的變化，使電子管對與其連用的振盪電路，注入一可變的電抗，以完成調頻的作用，則此管稱爲電抗管。

它係利用電抗來實現反饋，即反饋到柵極上的電壓與屏極上的交流電壓相差一個接近於 90°的相角。因此，屏極電流的交流分量與屏極電壓也就相差一個接近於 90°的相角，而電子管陰極與屏極間的這個部分就等於一個電抗（是容抗或感抗，則視相位移的符號而定）。向電子管的控制柵極（或某一補充柵極）加以直流電壓，可以改變陰極至屏極區間電抗的大小。由此可見，電抗管是一個可以利用輸入電壓而改變大小的電抗。電抗管應用於自動頻率微調、調頻等方面。

【電抗線圈】（Reactance coil）

如射頻及聲頻扼流圈等。

【電抗器】（Reactor）

使用線圈或電容器將電抗介入電路。

【電位】（Electric potential）

電荷在電場中由某處運動至另一處常會受到電場的助力或阻力，因而增加或減少位能。假設單位正電荷由無限遠處（該處無電場影響），移至 A 點，需要作一定量的功 V_A， 以抵抗沿途所受電力的阻力。此單位電荷所需的功稱爲 A 點的絕對電位。這是純量，可爲正亦可爲負。例如，A 點位於負電荷附近，單位正電荷被吸引而損失位能，則此旅程中 V_A 是負值。

如果另一 B 點的絕對電位爲 V_B（$<V_A$），則單位正電荷由 A 移至 B 將損失 $V_A - V_B$ 的位能。

絕對零位能在無限遠處，但實際運算時，都是任意定一零位點。通常，零電位是定在地球表面，或其他大型導體表面。

電位是以正電移動的方向決定，正電離開之點爲高電位，正電流入之點，爲低電位。或以地球的電位爲零電位（*zero potential*）來決定

，高於零電位者爲正電位（*positive potential*）低於零電位者爲負電位（*negative potential*）。

由電位的公式及球形導體電位推求法，可知地球電位近於零。因以帶有負、正電荷的物體通地時，即有正電由地流入負電體；同時另有正電自正電體流於地面。可知地球電位高於負電位而低於正電位可用爲比較電位的標準。

地之爲零電位，僅爲便於實用之近似的確定，其絕對電位應隨地面空中所荷電量、太陽光線及其他星體的感應而隨時變化；惟室內物體的絕對電位，常隨地面電位而升降，故其與地相比較所得之電位，不受影響。

任何中性體置於電位存在的空間內，即獲得其所在點的電位。帶電體所具電位的正、負屬性，與其所帶電荷的正、負並不恆同；須兼顧此物體所在的空間有何電位存在。如用起電盤使A盤感應起電時，同一A盤當其在B盤之負電位空間，與離開此空間時，所具電位性質即各不相同。

導體荷靜電時，其電位表裏一致。電荷靜止於導體上，即表在平行於此導體表面的方向及體內皆無電場強度，也表其導體各點的電位差皆爲零。故全體各點電位均等。如由法拉第實驗，在特製小室內，無法使驗電器荷電，可知其內部空中各點之電位已與錫箔表面相等。導體內部及其空穴處之電位均等於其表面，故稱爲等電位境。室內空間爲通地導體之空穴，故常與地面電位相等。若附近無其他電荷，則懸空荷電銅球之等電位面，皆爲同心的球面。

研究電場的目的，主要在研討一電荷在空間由一點位置被移至另一點所具有的能量。或者說一電荷在另一電荷爲q的附近電場中，由一點移到另一點位置時它的能量變化情形。

由萬有引力知兩物體相互吸引之力爲

$$F = K\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

其重力的位能

$$U_g = G\frac{m_1 m_2}{r}$$

於是根據庫倫定律，則兩電荷的引力為

$$F \doteq K\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

同理，電的位能（*potential energy*）

$$P.E. = K\frac{q_1 q_2}{r}$$

假設，有兩電荷 q_1 與 q_2 ， q_2 離固定電荷 q_1 之距離為 r ，則在 q_1 的電場中， q_1 的電位為：

$$V = K q_1 / r$$

$K\frac{q_1 q_2}{r}$ 表 q_2 距電荷 q_1 為 r 距離的位能， $V = K q_1 / r$ 表距離為 r 之電位。

將電位的觀念擴大，至一個電場中包含多數電荷時之電位，則在任何一點之電位 V ，等於多個電場中所具有電位的代數和。

已知電位為單位電荷之位能，以每庫倫 - 焦耳表示之。故電壓的定義，為一靜電場中一點之電位為一伏特時，即表示一電荷從無窮遠點移至此點時所抵抗此點之力所作的功為每庫倫 - 焦耳者。

因電位能（*potential energy*）為 Vq ，故

$$P.E. = Vq$$

$$V = \frac{P.E.}{q} = K\frac{q}{r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r}\,q$$

電位的實用單位為伏特，一伏特等於每庫倫 - 焦耳，即一庫倫電荷

所作功爲1焦耳時，稱爲1伏特，或

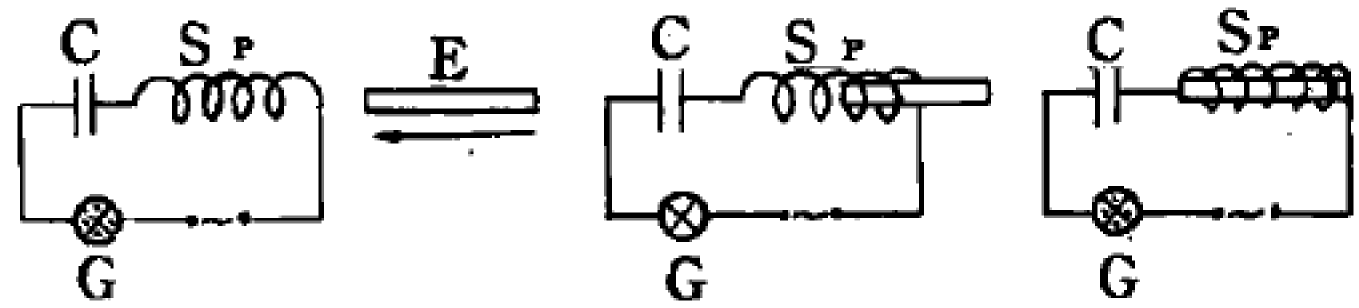
1伏特×1庫倫＝1焦耳

如果一個帶電的電荷，慢慢的在電場中移動，表示該電荷對電場作了功，或者說電場對於電荷作了功。

假如此一電荷循電場方向或反向由 a 點移至 b 點所作的功恰是1焦耳-庫倫時，則 a 與 b 間的電位差爲1伏特。

【電位之共振】(Resonance of electric potential)

如圖 13—225 所示，取電容器、線圈及輝光燈各一互相串聯而接於一交流電源上（$f=50$ 赫茲)。初時輝光燈之光極爲黯弱；如將一軟鐵芯慢慢送入線圈中，則該燈燈光即逐漸變得明亮；當軟鐵芯超過一定位置後，輝光燈的亮度又逐漸減弱。輝光燈的亮度最大時，顯示其時的電流強度也是最大。顯然可見，此一現象乃在自感應與電容的效應互相抵銷，亦即 ωL 與 $\dfrac{1}{\omega C}$ 的大小彼此相等之時才會發生，因其時線圈與電容器上的電壓恰好是相等。相反的，其值可以達到極高的程度。此時電流強度不受它們的影響，只取決於歐姆電阻的大小。即含有線圈與電容器的電路均有發生振動之可能，這種振動乃由電容器的週期性充電與放電所致；因此，能量便在線圈與電容器之間來回傳遞。當振動系統（線圈即電容器）的固有頻率和交流電源的頻率一致時，這種振動過程便達到其最大限度而引起一種共振的現象，是謂電位之共振。



C 爲6微法拉；S_P 爲 3,000匝；G爲小輝光燈

(a) G甚黯　(b) G明亮　(c) G復黯

圖 13 — 225　電位之共振

【電位計】(Potentiometer)

以與標準電池的電動勢做比較的方法，測定未知電壓的裝置。使用於電池的電動勢、溫差電偶的電動勢，以及其他直流電壓、電流、電力

、電阻等的精密測定。

圖 13－226 爲實習用電位計。其構造計有電位計本體（參照圖 13－226、圖 13－227）。

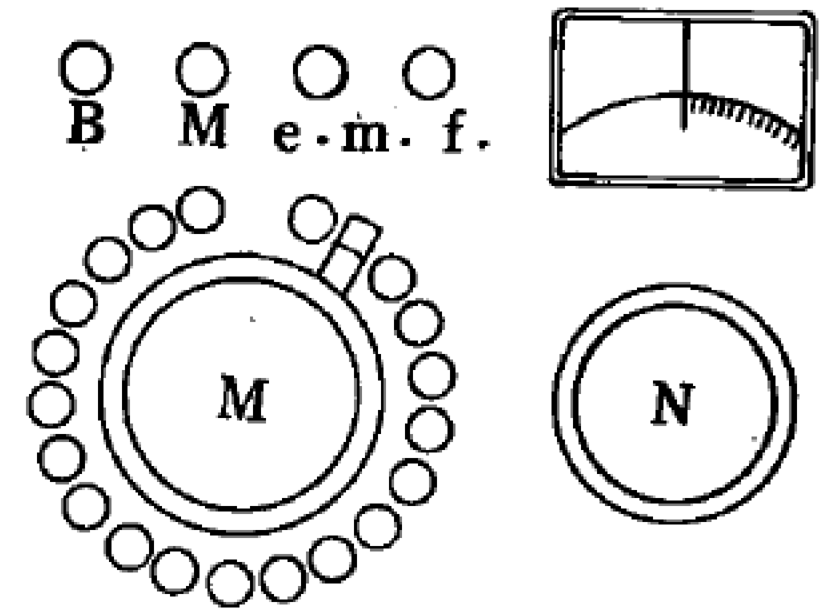


圖 13 — 226

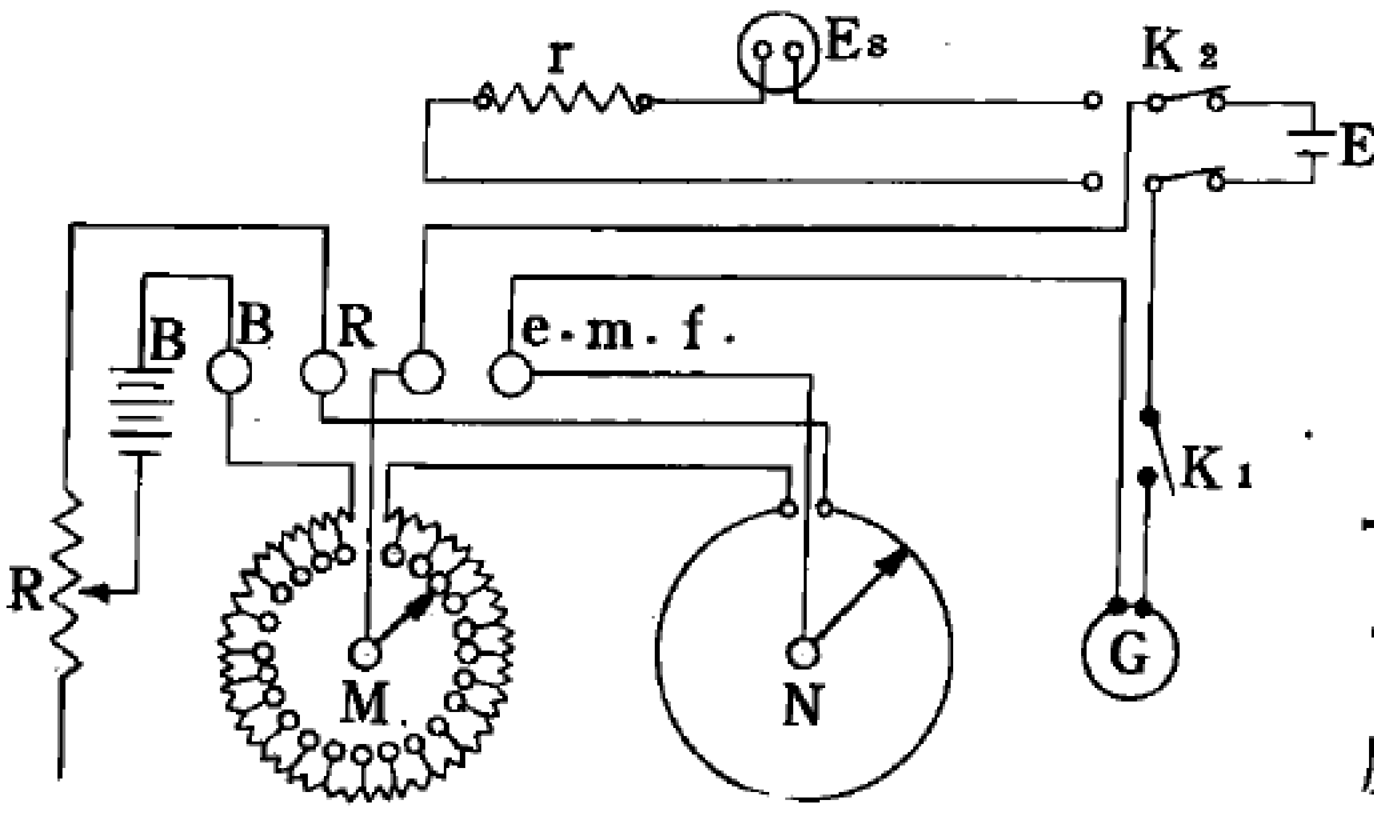


圖 13 — 227

M爲22個100Ω電阻的串聯，裝有刷型標度盤可與22接點相接。各接點則爲以 0.1V 間隔指示 0到 2.2V 等值。N爲 100Ω的電阻線，裝有滑動型標度盤，以最小即 0.0005 V 的分劃可指示 0 到 0.1 V 間值。E_s 爲標準電池，B 爲蓄電池（2V，12AH以上），G爲檢流計，R爲滑動電阻，r 爲標準電池保護用電阻（最小約爲 5,000 Ω），K_1、K_2 爲開關等。

將蓄電池B，滑動電阻器R，粗細均一的電阻線CD，檢流計G，標準電池E_s，標準電池保護電阻器r，欲測電動勢的電池E，開關K_1、K_2等，如圖 13－228 連接。

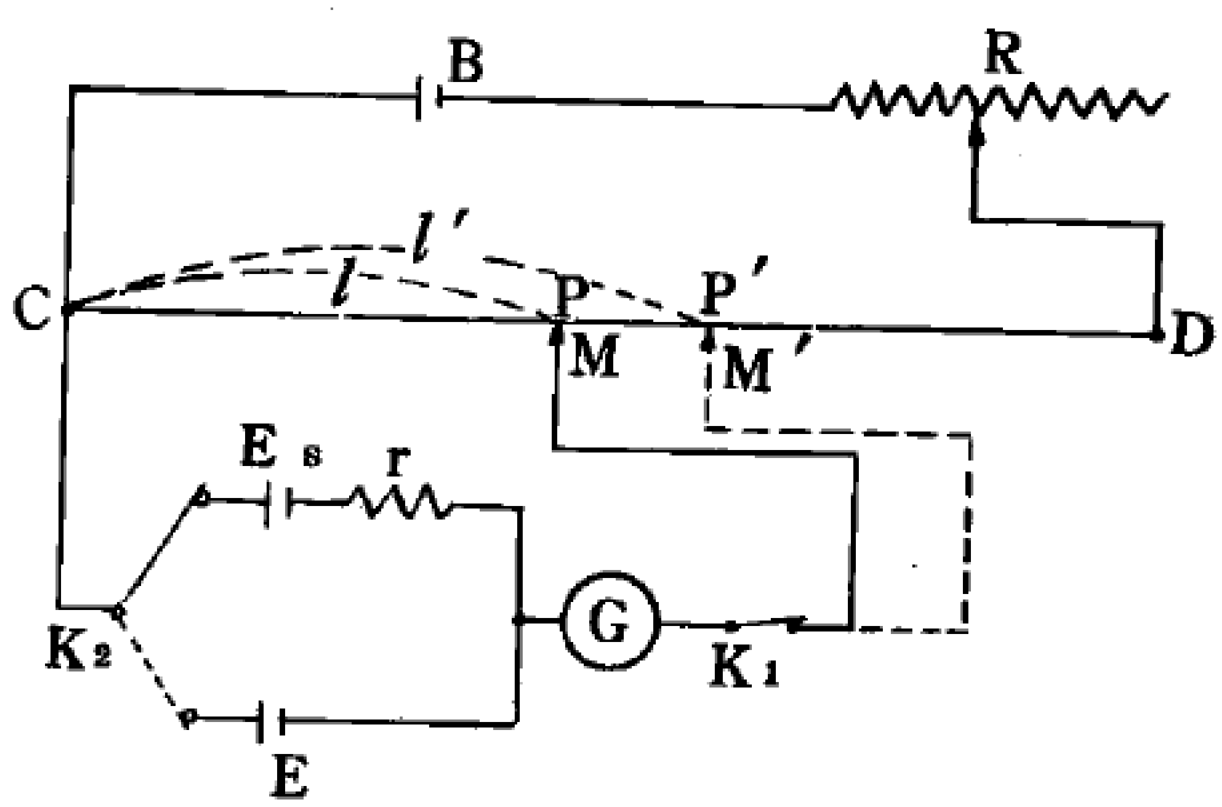


圖 13 — 228

調整R值，使CD間有適當大小的一定電流 i 流通。將開關K_2 接到標準電池側。把滑動針M沿著電阻線CD移動。設在P點與電阻線CD接觸時，關開關K_1，G的指針指示 0 位置。令此時CP間電阻爲R_{CP} 則

$$E_S = R_{CP} i \qquad (1)$$

然後，把開關K_2接到欲測電動勢電池側。將滑動針M沿著電阻線CD移動，設在P'點與電阻線CD接觸時，關開關K_1，G的指針指示0位置，令此時CP'間電阻爲$R_{CP'}$，則

$$E = R_{CP'} i \qquad (2)$$

由（1）與（2）式，得

$$\frac{E}{E_S} = \frac{R_{CP'}}{R_{CP}} = \frac{l'}{l}$$

故
$$E = E_S \frac{l'}{l}$$

因此測定CP'間長度l'與CP間長度l的比，則與標準電池的電動勢做比較可求出未知電動勢。

【電位降落】（Potential drop）

電流流經一電路元件時，由於該元件的電阻或阻抗所導致兩端點的電位差。其單位爲伏特，又簡稱位降。或稱爲電壓降落（*voltage drop*），爲電路上任何兩點間的電位差，如圖 13—229 所示，分爲下列兩種：

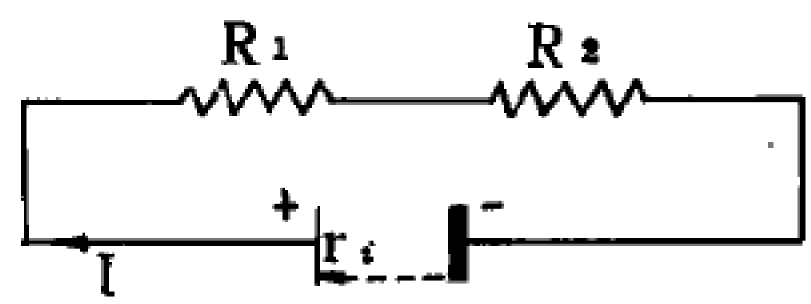


圖 13—229

1. 內路電位降——電流反抗內電阻時所發生的電位降。若內阻爲r，則內路電位降爲Ir。

2. 端電壓（*terminal voltage*）——爲通路時電源兩極間的電位差。若外阻爲R，則端電壓爲IR。

外路電位降之總和＝端電壓＝電動勢－內路電位降

因端電壓隨外電阻而定，故輸出電流愈強，端電壓愈低。電路中，無電流輸出（卽斷路）時

電動勢＝端電壓＝兩極間電位差

【電位差】（Electric potential difference）

電位差卽單位正電荷由電場中某一點移至另一點所需的功。由電場

強度的定義可知，兩點之間的電位差亦等於任何連結此兩點連線的電場強度之線積分，即

$$V_a - V_b = \int_a^b E\,ds\cos\theta = \int_a^b \vec{E}\cdot\vec{ds}$$

式中 $V_a - V_b$ 即 a、b 二點間的電位差，$\vec{E}$ 是電場強度，θ 是 $\vec{E}$ 與線素 $\vec{ds}$ 之間的夾角。

此定義只限於線積分與路徑無關的情形。電位差又稱為電壓降落（*voltage drop*）。

電位差的 M. K. S. 單位為焦耳／庫倫，因其時常出現，故用一特別單位伏特（*volt*）代表之；即

1 伏特 = 1 焦耳／庫倫

電位差可使用靜電計、伏特計等來測定。使用靜電計測定兩帶電體間靜電力的大小，即可算出兩物體間之電位差。如圖 13—230，伏特計是將一電流計與一高電阻串聯而成。因通過電流計中之電流與所接的電位差成正比，故由其上的讀數，即可得電位差。

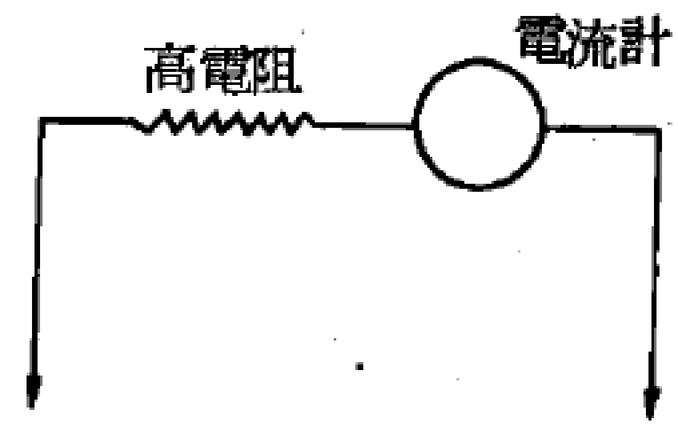


圖 13—230 電位差

【電位能】（Electric potential energy）

相距 r 之二電荷 q_1 和 q_2，如圖 13—231。若二電荷符號相反，則增加其間隔時外物應作之功為正，若符號相同則反是，此功所表的能量可認為以電位能儲存於 $q_1 + q_2$ 的系統中。這種能量與各種位能相同，可變換為其他形式。若 q_1 和 q_2 為不同符號之二電荷，釋放後將相向加速，將所儲位能變換為加速質量的動能。點電荷組的電位能為將各電荷自無限遠攜近而集成電荷組時所需之功，假設相離於無限遠時這些電荷全係靜止，即它們並無初動能。

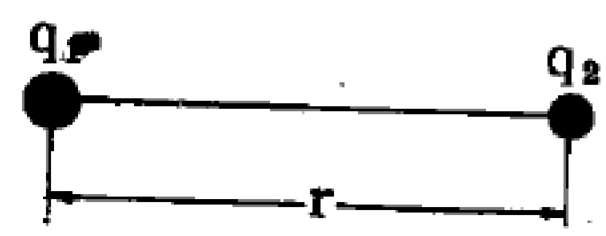


圖 13—231

假想 q_2 被移至無限遠處並呈靜止，在 q_2 原來位置上，由 q_1 所生之電位為

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r}$$

若將 q_2 自無限遠移回原距離 r 處，所需之功爲

$$W = V q_2$$

合併上二式，且知此功 W 即是 $q_1 + q_2$ 系統的電位能 U_e ，得

$$U_e\ (= W\ ) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}}$$

r_{12} 是點電荷 q_1 及 q_2 間之距離。兩點電荷相距無窮遠時，$U_e = 0$ 。同種電荷，無論 r 爲任何有限值 $U_e > 0$ 。 異種電荷，無論 r 爲任何有限值 $U_e < 0$ 。

對於含有兩個以上電荷的系統，可分別計算每對電荷的電位能，再以代數相加其結果，此步驟爲：(1)將電荷 q_1 攜至其位置，(2)將 q_2 自無限遠攜至 q_1 附近的位置，(3)將 q_3 自無限遠攜至 q_1 和 q_2 附近的位置，等等。

欲求連續電荷分佈（例如橢圓球電荷）的電位能，可將該分佈分成無限小的基素 dq ， 每一基素均當作點電荷，再用上段所述的步驟，以積分代替求和。

【電位移】(Electric displacement)

亦稱電通量密度（ *electric flux density* ）或電感應（*electric induction* ）。在介電係數爲 ϵ 的均勻介質中，電位移爲

$$\vec{D} = \epsilon\vec{E}$$

$\vec{E}$ 爲電場強度。在 *M. K. S.* 單位制中，$\vec{D}$ 的單位是庫倫／米^2，在 *e.s.u.* 靜電單位制中，$\vec{D}$ 的單位和 $\vec{E}$ 相同。

電位移滿足高斯定義，在簡化 *M. K. S.* 單位制中表示爲

$$\oint \vec{D}\cdot d\vec{A} = q$$

面積分係對封閉曲面而積分，q 爲曲面內所包圍的淨電荷。

電位移的時變率 $\partial \vec{D} / \partial t$ 即是位移電流密度，依照馬克士威定律，此位移電流密度能產生磁場，其情形一如眞實的電流密度。

【電位梯度】(Electric potential gradient)

如果電位差的定義是指作用於相距 $d\,,l$ 的兩點上，則

$$d\Phi = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

而 $d\vec{l}$ 可以其分量的單位向量表示如下

$$d\vec{l} = dx\,\vec{a}_x + dy\,\vec{a}_y + dz\,\vec{a}_z$$

得
$$d\Phi = -\,(E_x dx + E_y dy + E_z dy)$$

而 Φ 爲 x 、y 和 z 的函數，此總微分能寫成

$$d\Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial x} dx + \frac{\partial \Phi}{\partial y} dy + \frac{\partial \Phi}{\partial z} dz$$

上兩式比較之

$$E_x = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} \qquad E_y = -\frac{\partial \Phi}{\partial y} \qquad E_z = -\frac{\partial \Phi}{\partial z}$$

$$\vec{E} = -\left(\vec{a}_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \vec{a}_y \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \vec{a}_z \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)$$

或
$$\vec{E} = -\,grad\,\Phi = -\,\nabla\Phi$$

此電位梯度表一向量，於空間任何點，純量函數 Φ 的最大空間變量的大小和方向以梯度 Φ 表之。

【電表】(Electric meter)

測量電路上電流、電力、電壓及電阻等之儀器，如安培表、毫安表、歐姆表、伏特表、波長表、音度表等；或是記錄電度的瓦特小時計（*watt-hour meter*），通稱爲電表。

【電弧】(Electric arc)

把碳棒串聯一電阻並聯到約 60 伏特電壓的電源的正負極上， 將兩根碳棒互相接觸，然後稍稍分開。兩碳極間就會產生極亮的弧形光；

這就是電弧。

電弧的溫度很高，約有 3,500° C.，所以可以用於切割和熔接金屬及應用於電爐中。工業方面，約有 90 % 的工具鋼和幾乎全部的特種鋼都是用電爐來熔煉的。同時，由於發出的光亮很強，因此在探照燈、燈塔、幻燈機及電影機上都把它當作爲強烈的光源來使用。碳弧中富有紫外線及近於紫色光末端的光譜，在醫學上廣泛用來醫治各種疾病的人工太陽燈（水銀燈），也是用它作成的。在電工方面，它可以用來作整流器，即所謂汞弧整流器。食品工廠也使用強力碳弧燈照射食物，作爲維他命 *D* 的來源。

【電弧振盪器】（Arc oscillator）

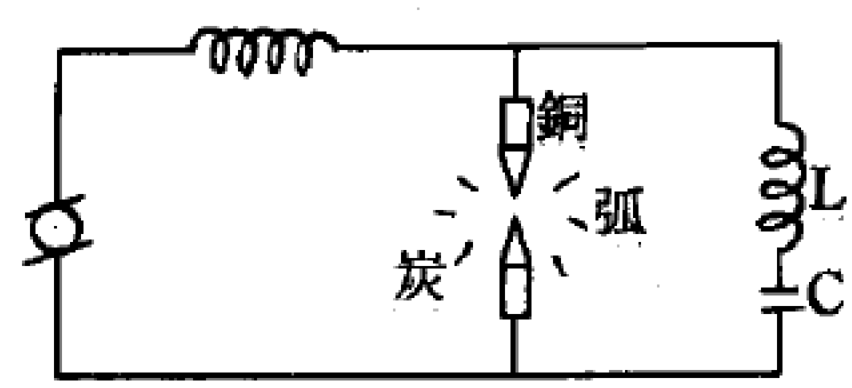


圖 13 — 232

由於電弧具有一段下降特性曲線，即在此段曲線內具有負電阻，所以電弧便在與其相連的振盪迴路中產生電振盪。如圖 13— 232 以前在無線電報臺上廣泛地應用電弧振盪器作爲等幅波的來源，但此種線路不適合高於 200仟赫以上，同時輸出的有甚多諧波，船隻電臺遇險時可以准許使用。

【電波】（Electric wave）

在某處使導體與導體間發火花而放電時，周圍的以太（*ether*）產生振動的變位，以放電所在處爲中心，向四方傳播，恰如光波從光源向四方傳播一樣，而以太所產生的波動，此種波動，謂之電波。此因流於兩導體間之電流，成振動的變化，其周圍之磁場，亦成振動的變化之故。

電波具有與光一樣的直進（直射）、反射及折射等性質。又與光同是一種波，其傳播的速度與光相同，約爲每秒 3×10^8 米。

【電波干擾】（Interference of electric wave）

頻率相同但到達某點時相位不同的兩個或多個電波彼此相加發生的情況。如果在某些點上，兩個電波到達時相位相同，則其互相增強，合

成波的幅度達到最大值。如果在某些點上，兩個電波到達時相位相反，則互相削弱，合成波的幅度降爲最小。倘若兩個干擾波的幅度相同，則在各個最小值的點上，它們便完全互相抵銷。

兩個（或數個）電波能以不同的相位到達各點，是因爲它們離開發射機而到達該點所經歷的路程不同，而這些路程長度的差別，即所謂波程差（它決定著各波之間的相位差），在各個不同點上可能是不相等的。故在空間的某個區域內，來自發射機的電波若是經歷著不同的道路，則在這個區域內就會發生電波的干擾，電波在某些地點互相加強，在某些地點互相削弱。如果由於某種原因，波的某一條道路的長度發生變化（或者兩個波的行程差發生了不同的變化），則此兩個波以同相或反相相遇的那些地點的位置發生變化，因而空間裏因干擾而發生的最大值和最小值所在的位置也就改變了。

【電波之反射】（Electric wave reflection）

無線電波投落到導體或電介質的表面時所發生的反射。如果導體很良好(例如當無線電波投落到海面時)，就發生波的全反射。如果導體不良（例如乾砂），則波只有一部分反射，另一部分則被導體所吸收。如果無線電波是投落在電介質的表面時，則波的一部分由介質反射回來，另一部分則穿透到介質裏面去。這一現象說明：電波不僅與投射表面性質有密切關係，同時也與電波的投射角度和電波本身的波長有密切的關係。電磁波從地面的反射在許多實際情況下，首先是在短波的遠距離傳播方面，都起著極爲重要的作用。

【電波之吸收】（Radio wave absorption）

無線電波在某種介質中傳播時，其能量即被此介質所吸收。倘若介質在某種程度上是電的導體，則在無線電波的電場作用下，介質內就有電流產生。產生這些電流時，無線電波要消耗一部分能量，所以電波在介質中傳播時，便會逐漸地減弱。

電波吸收的程度與介質的電氣性質有關，亦與電波的頻率有關。傳播時的電波吸收可能發生在地內，也可能發生在大氣的電離層內。電波直接在地面上傳播時，起主要作用的是地內的電波吸收。不過對於長波來說，這個吸收是不大的。隨著波長的減小，地內吸收就逐漸增長，在短波時，沿著地面傳播的波在傳到數十或數百公里時便被全部地吸收了。傳播於大氣上層的短波可能遭到大氣上部電離層的吸收。有時非常強烈，以致使無線電接收減弱，甚至使無線電通信完全斷絕。超短波在大氣內所遭受的吸收是很微小的，只有在最短的厘米波時，大氣吸收才比較顯著。

【電波之折射】(Radio wave refraction)

無線電波由於在大氣各層中的傳播速度不同，而產生傳播途徑的彎曲。無線電波在介質中的傳播速度是隨該介質的介電常數而變化，介電常數越大，則傳播速度越小。所以無線電波在大氣中的傳播速度便隨著大氣的介電常數而變化，而此介電常數又隨著大氣的密度而變化。但大氣密度變化時，其介電常數的變化是很小的，故在未電離的大氣中，電波的折射不大。但是無線電波在大氣中的傳播速度嚴重地受到自由電荷（主要是電子，在較小程度上是離子）的影響。自由電荷使介質的介電常數減小，亦即使無線電波的傳播速度加大（頻率越高，即波長越短，自由電荷所受的這種影響也就越不明顯）。所以在大氣上部的電離層內，無線電波的傳播速度便隨大氣電離程度而變化。如果電離是隨著高度的增加而增長，則在波束斜著進入大氣時，穿入大氣更高層的無線電波的傳播速度便大於傳播在下部各層的無線電波，並追過它們。於是無線電波的道路就發生了曲折，電波便重新回到地面。

短波的遠距離傳播就是這種情況。但因為頻率越高（波長越短），自由電荷的影響就越小，所以隨著波長的縮短，大氣電離層中的電波折射就越來越不顯著。在超短波的時候，大氣中的電波折射便小到這樣的

程度，以至使電波不能再回到地面。能使超短波在直視範圍以外傳播的，是這種波在大氣下部各層的折射，而這種折射的形成則是由於大氣密度的變化，也就是介電常數隨高度的變化。

【電波之輻射】(Electric wave radiation)

交變電流供電的導體能將電磁以電磁波的形式輻射出去的過程。在任何一個由交變電流供電的廻路周圍都會產生交變的電場和磁場，這個電磁場具有一定的能量。當電源電流的頻率還不夠大，與之相應波長比廻路的尺寸要大得多時（例如波長比導體之間的距離大得多的雙線線路），電磁場隨著離開廻路的距離而很快地減弱，即電磁場的強弱與離開廻路的距離之平方成反比。這就使得電磁能差不多完全集中在廻路近旁的周圍空間裏，並且和廻路連繫在一起。在這種情況下實際上就沒有電磁能的輻射。如果接至廻路的電流頻率足夠大，其對應的波長縮小到可以與廻路的尺寸相比擬，則電磁場的減弱與距離之間將是另一種關係。此時電磁場的強弱係與距離的一次方成反比，即其減弱的速度要比以前一種情況緩慢得多。因此，電磁能量分佈的空間要比前一種情況大得多，且與廻路的連繫亦大為減弱。一部分能量便與廻路失去了連繫而以電磁波的形式愈來愈遠地向空間傳播出去，而發生廻路輻射電磁能的現象。為了維持輻射電磁波的廻路內的交流電流，就需要向此廻路接入交流電勢；此電勢所作的功不僅要補充廻路內的熱損耗，而且還應補償輻射損耗。

雖然從理論上講，任何一個接有交變電流的廻路周圍都有交變電磁場產生，並且場的一部分能量與廻路失去連繫而向周圍空間輻射出去，然而實際上只有電源電流的頻率足夠高時（符合於前述的波長與廻路的尺寸的條件時），廻路才輻射出顯著的電磁能量。所以為了實現無線電通信，即為了不用導線而以電磁波的形式將能量發送出去，就必須採用頻率足夠高的電流和尺寸足夠大（能夠和電源電流的波長相比擬）的輻射器（天線）。在頻率低於 30～40仟赫對應的波長為 10,000～7,500

米）時，就已很難作出能輻射顯著電磁能量的天線。由於這個緣故，在無線電通信裏，幾乎不採用長於 10,000 米的電波（爲某些很特殊的目的而採用的情況例外）。

【電波天文學】(Radio astronomy)

藉自天體中物體發射或反射無線電波頻率來研究天體中物體的學問。亦就是根據天體無線電輻射的性質和強度，而能判斷天體內所發生的各種過程及其狀態。因此，研究天體無線電輻射是現代天文學的重要手段之一。無線電輔助光學儀器可以獲得太空中更珍貴的資料。

【電波太陽】(Radio sun)

在無線電望遠鏡上之太陽，被作爲電波太陽或無線電太陽，此因不僅可見太陽之本身發射連續之無線電短波，且區域相當廣之太陽周圍亦有電波存在，故電波太陽之直徑爲可見太陽直徑一倍以上。

【電波星】(Radio star)

散離無線電源（簡稱電源）之舊稱。

【電波傳播】(Electric wave propagation)

電磁波通過介質行進時的一般情況。

【電阻】(Resistance)

電阻是電路或任何能作爲電路一部分的物體之純量性質，它可表示對某固定電流時，電能轉變爲熱或輻射能的速率，其與電流平方的乘積又可表示此能量的時變率。電阻是導體的一種性質，與導體的大小、質料和溫度有關。它可以決定在某電壓下，電路中電流的流量。電阻單位爲歐姆，一歐姆是一伏特電位差能產生一安培電流的電阻。電阻的符號常寫爲 R。

國際歐姆單位定義爲在一定電流及 0°C 時，14.4521 克，長 106.300 厘米均勻截面的水銀柱之電阻。這又稱爲一法定歐姆。

除了某些特殊物質在接近絕對零度時無電阻外，幾乎所有物質都有

電阻性。

電路中所有串聯電阻的總電阻是各分電阻之和

$$R_s = r_1 + r_2 + \cdots + r_n$$

而並聯電阻的總電阻是

$$R_p = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \cdots + \frac{1}{r_n}}$$

上二式中 R_s 、 R_p 爲串聯與並聯的總電阻， $r_1, r_2, \cdots r_n$ 分別爲各分電阻的電阻。

於串聯電阻時，改變 1 個電阻之大小，因通過每 1 個電阻之電流均發生變化。因此，各電阻兩端之電壓，以及消耗電功率均發生變化。

於並聯電阻時，改變 1 個電阻之大小後，該電阻所消耗的電功率隨之而變，但其他電阻所消耗的電功率不變。

電阻測定之方法有四：

1. 以電壓計與毫安培計測量中位的電阻——依歐姆定律，以電壓與電流強度之比求得電阻值。電阻爲溫度之函數，溫度依電流之強度而變，故電阻值隨電流值而變。又電壓計與電流計皆有內電阻，故如接法不同其值亦異。

我們可如圖 13—233 (a)或(b)之方法，將電阻連接在電壓計、毫安培計及電池上。以電壓（ V ）除以電流（ A ）而求得電阻（ Ω ）之值。

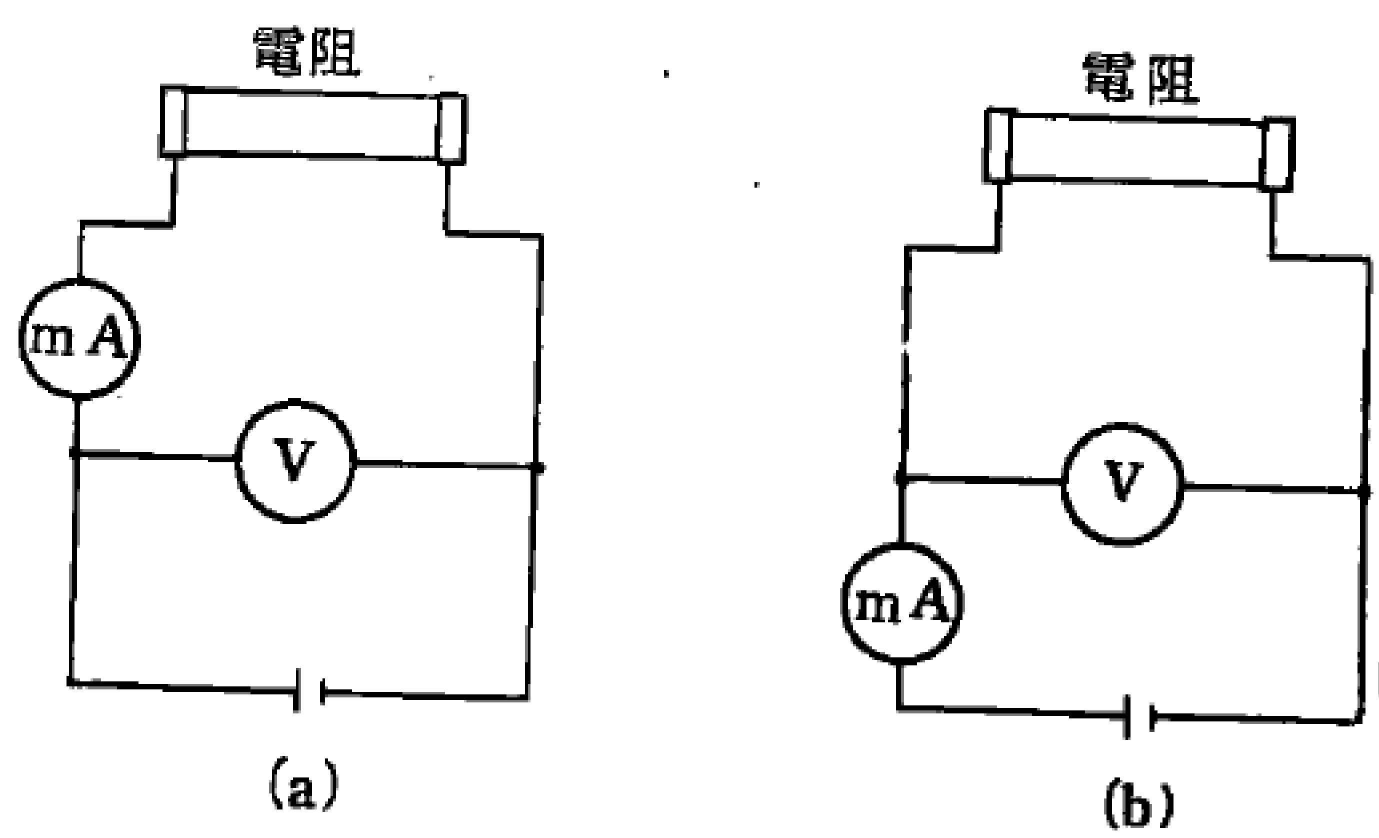


圖 13 — 233

2. 以三用電表測量幾Ω至幾 $Meg\Omega$ 的電阻——將待測電阻接在以電池、微安培計（ μA ）以及電阻器所形成的廻路，關閉廻路，即可由電流之強度來讀出待測電

阻之值。

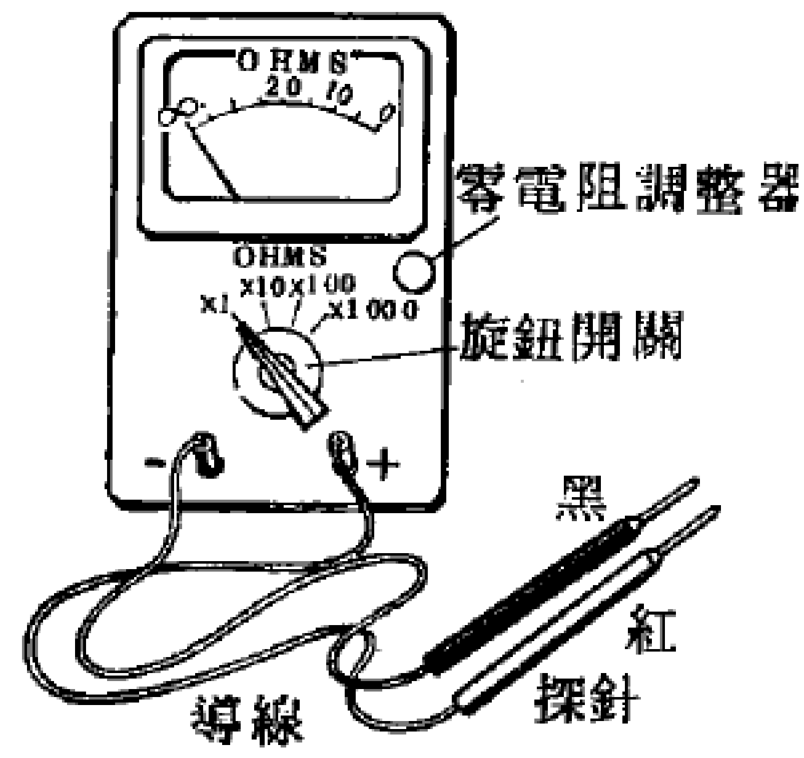


圖 13 — 234

如圖 13 — 234 ，轉動三用電表的旋鈕開關，定好歐姆之範圍（例如，× 1之處）。使紅黑探針相觸，轉動零電阻調整器，使指針在零位刻度上。將探針接觸於待測電阻的兩端。此時指針之讀數即爲電阻值的歐姆數（約 500 Ω～1KΩ ）。 測量更大的電阻器時，要把旋鈕開關轉到× 10 的位置上。將待測電阻夾在探針之間，此時指針之讀數的10倍爲電阻值（約爲5KΩ～10KΩ）。同樣地，轉動旋轉開關於×100，×1,000的位置，即可測量更高的電阻。

3. 以測高阻計（ *megger* ）測*Meg* Ω的高電阻——由直流發電機與歐姆計所構成（圖 13 — 235 ）。 轉動直流發電機的搖柄，產生一定的直流電壓。將此電壓加在待測電阻上使電流流通。此電流流過歐姆計的驅動線圈使指針轉動。又，以上述之電壓使制御線圈流通電流以停止指針之轉動。兩方力矩之和爲零時指針即不動，此時便可讀到*Meg* Ω之數。

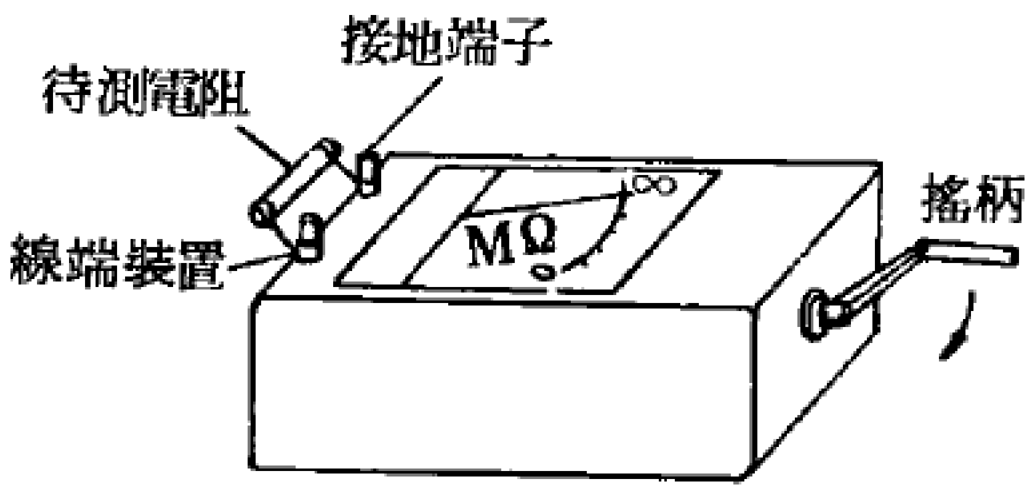


圖 13 — 235

其方法係將測高阻計的搖柄依順時方向搖轉。此時指針指向∞。再將線端裝置與接地端子以導線連接起來而後搖動把柄。此時指針應指在零位上。再將待測電阻接在線端裝置與接地端子之間，搖動搖柄。此時指針所示爲電阻值的*M*Ω 。

4. 使用惠司同（ *Wheatstone* ）電橋測量電阻—— 依照圖 13 — 236所示配線（點線表示電線）。此係與圖 13 — 236(*a*)及(*b*) 之廻路相同。*R*爲待測電阻，*G*爲檢流計，K_1 爲電源開關。 其測定方法及步驟

如下：

⑴檢查 $P\ O$ 箱的全部插栓是否栓緊以便祛除接觸電阻。

⑵將圖 13— 236 $A\ B\ C$ 間 100的插栓拔去。這就如圖 13— 238 所示，當插栓插入時電流便不經電阻而流過，但如拔去時電流便經由裝在硬膠板下的 100 Ω 的電阻而後再流到表面上來。（例如拔去 3的插栓，廻路便產生 3 Ω 的電阻。）拔出的兩只插栓可放在箱蓋裏以免遺失。這就相當於在圖 13— 237 P 及 Q 兩處各插上 100 Ω 的電阻。

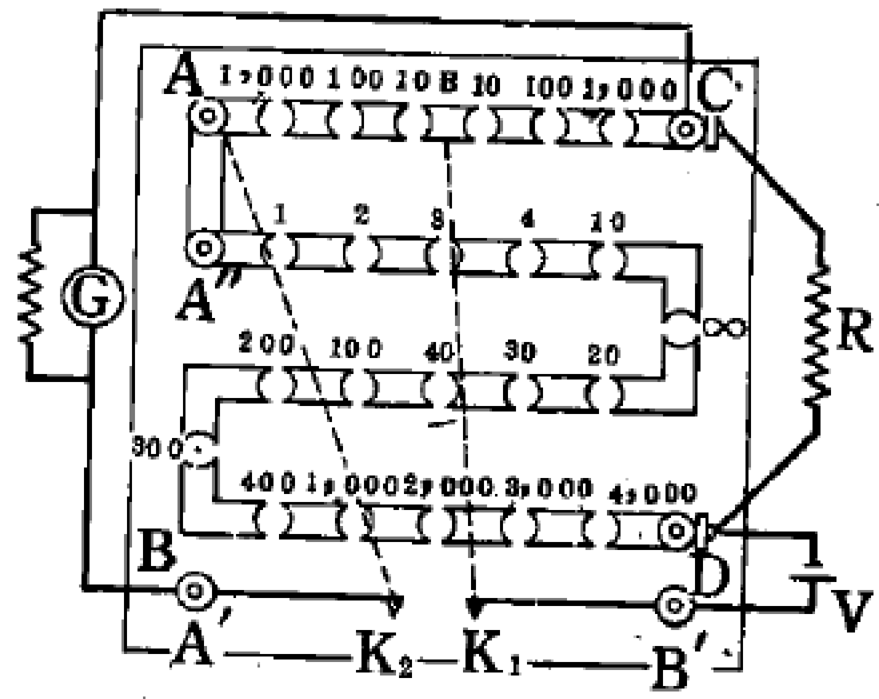


圖 13— 236

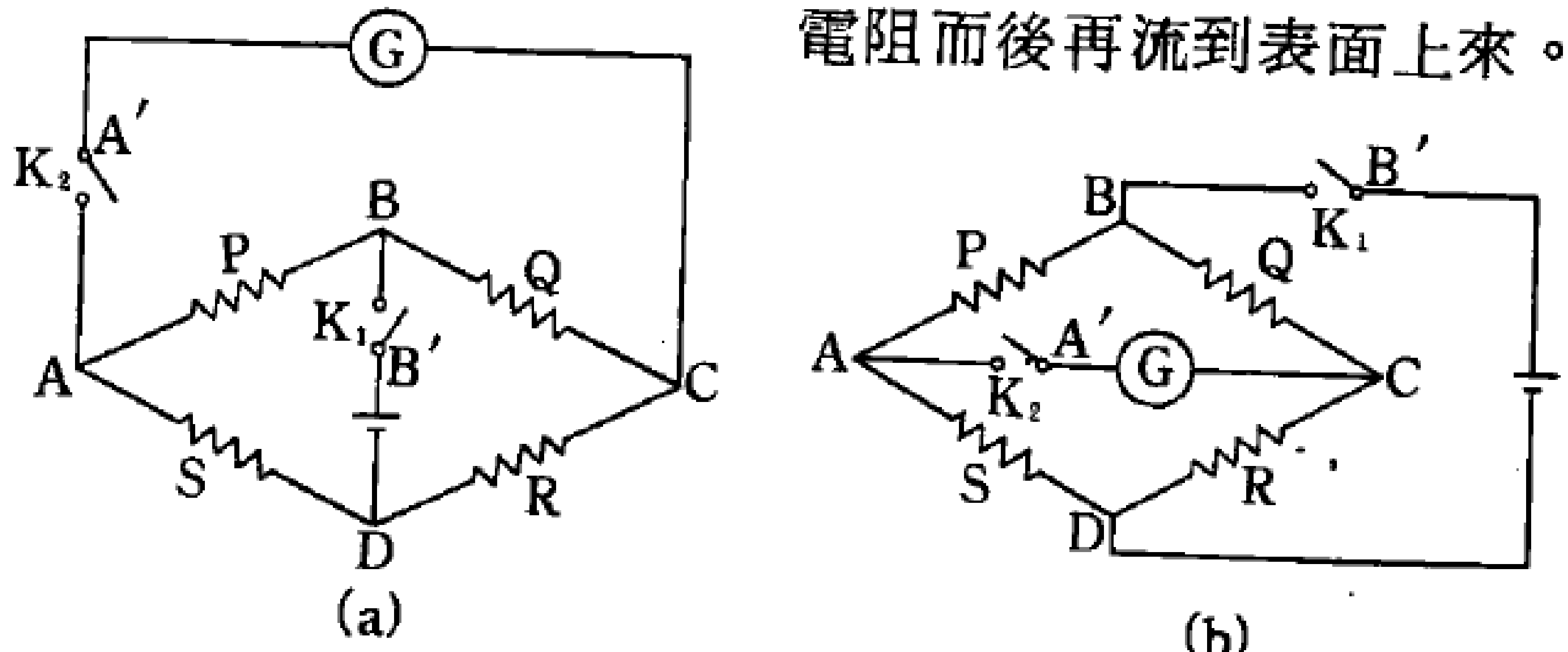


圖 13— 237

⑶將∞的栓拔去，此處因不連續故以右手中指按下 K_1 復以食指按下 K_2 時，$A\to A''\to D$ 便無電流，而只要電池 E 連接如圖 13— 236 圖 13— 237 (a)及(b) 一般，電流便必然經由 $A\to K_2\to A'\to G\to C$ 而流過。此時應記下 G 的指針之方向。

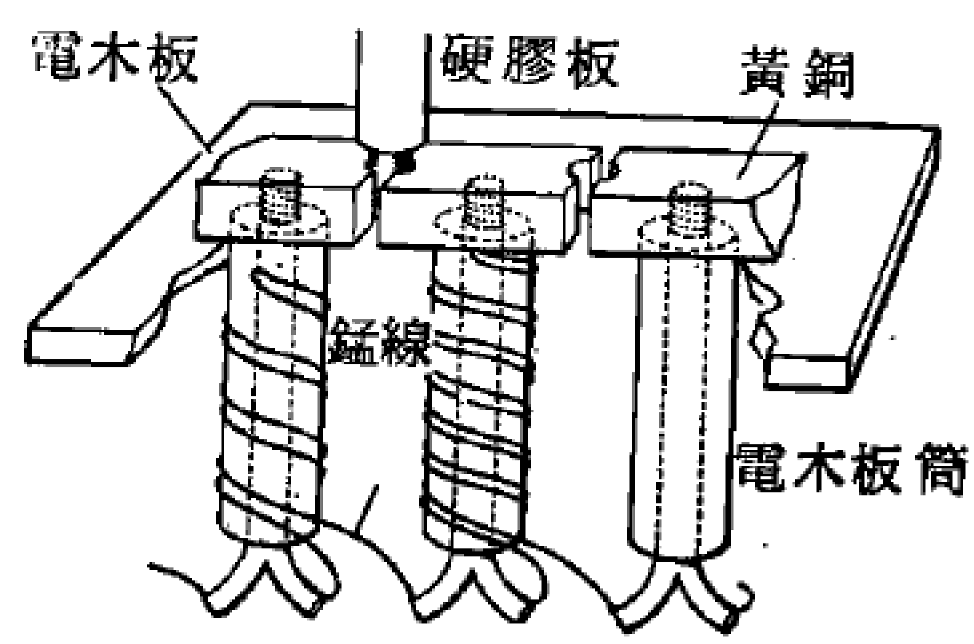


圖 13— 238

⑷插入∞的栓子並使 S 的電阻爲 0時，$A\ C$ 間之電流便與第⑶項相反，故 G 的指針之方向亦相反，將之記錄下來。

⑸使 S 的電阻爲 200Ω（將 200的栓子拔去）。所謂 S 是在 $P\ O$ 箱面上 $A''\to 1\to 2\cdots\infty\to 20\to 30\to\cdots\to 4{,}000\to D$ 全體插栓所形成的

。此時G之指針的偏向如與拔去∞的栓子同向時，在圖 13 — 237 上便是表示$P \times R < Q \times S$。（∵$S = \infty$時不等號爲<，$S = 0$時不等號則爲>）。故$R < \frac{Q}{P} \times S = \frac{1,000}{1,000} \times S = S = 200\,\Omega$

(6)插入 200，例如拔去 4 的栓子而$S = 4\,\Omega$時，G指針的偏向如與(4)（$S = 0$）相同時，$R > 4\,\Omega$ ∴ $4 < R < 200$

(7)$S = 150\,\Omega$，例如$7 < R < 8$，如此縮小測量之範圍。

(8)如將Q栓由 100 換插到 1,000 時，即$Q = 100\,\Omega$，而

$$\left(\frac{Q}{P} \times S\right)_{P=1,000,\ Q=1,000,\ S=7}$$

$$= \left(\frac{Q}{P} \times S\right)_{P=1,000,\ Q=100,\ S=70}$$

故(7)的不等式爲$7.0 < R < 8.0$，或者如$Q = 10\,\Omega$時，即$7.00 < R < 8.00$（$S = 700$和800）。如此更進一步，例如$7.53 < R < 7.54$，可以這樣縮小。（$S = 753$，754）

(9)縮小到這般程度，G已大抵沒有電流通過，故要去掉分路電阻，感度如μA程度之微小的G之指針殆已不動。此時

$$7.53 \fallingdotseq R \fallingdotseq 7.54$$

如使用$0.1\,\mu A$ 程度之微小的檢流計而G之指針再動的話，而$S = 735$則多 2 刻度，$S = 754$則少 3 刻度時，使用比例分配：

$$S = 753 + \frac{2}{2+3} = 753.4\,\Omega$$

$$\therefore \quad R = \frac{Q}{P} \times S = \frac{10}{1,000} \times 753.4 = 7.534\,\Omega$$

⑽以上(1)～⑽的操作再做一次，以便確定R之值是否相同。如不相同，即係插栓或端子等之接觸不良而引起（甚至有$0.1\,\Omega$之差者）。或如房子裏的溫度太高時，由電木板上的塵埃之傳達而發生漏電現象等。

【電阻之連接】(Connection of resistance)

電阻之連接法有：串聯、並聯和特種並聯，茲分述如下：

【Ⅰ】電阻之串聯

總電流與通過每一電阻中的電流（ I ）相等。

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots\cdots$$

總電壓(V)爲各電阻兩端的電壓(V_1 , V_2 , V_3,…)之和。

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots\cdots$$

合成電阻（ R ）爲各電阻（ R_1 , R_2 , R_3,……）之和。

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots\cdots$$

如果電阻越大，在各個電阻所消耗之電功率越多，與電阻之大小成正比。改變1個電阻之大小後，不僅該電阻，連同其他電阻之消耗電功率均發生變化。

如圖13—239，在AB之間，串聯R_1、R_2的電阻，在AB間加電壓時，設所通過的電流爲I，則由歐姆定律，$V_1 = IR_1$, $V_2 = IR_2$，故總電壓

$$V = V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2 = I (R_1 + R_2)$$

設合成電阻爲R時，因$V = IR$，所以

$$R = \frac{V}{I} = \frac{I (R_1 + R_2)}{I} = R_1 + R_2$$

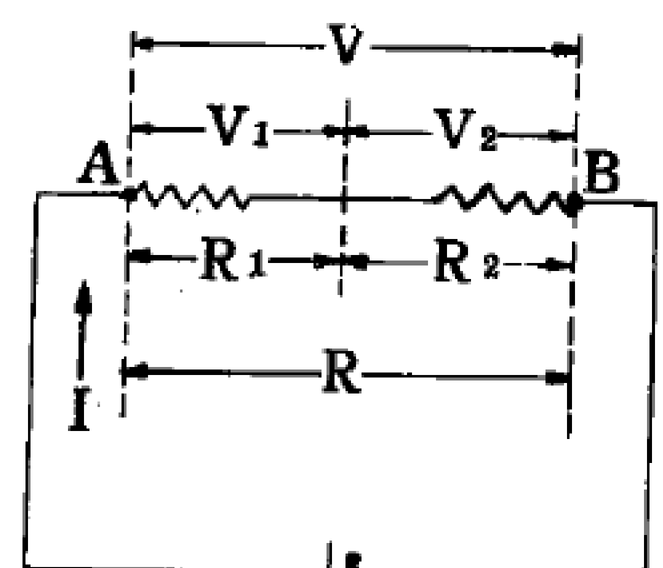


圖13—239 電阻的串聯連接

以此類推，電阻爲n個之合成時，$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots\cdots + R_n$。卽串聯時的合成電阻比所連接的任何一個電阻爲大。

串聯時，通過各電阻之電流均相等，每一個電阻所消耗的功率等於電阻兩端之電壓×電流（ $V_1 \times I$ 及 $V_2 \times I$ ）。因此所消耗的電功率與各電阻兩端之電壓（ V_1 及 V_2 ）成正比。但各電阻兩端之電壓等於電阻×電流（ $R_1 \times I$ 及 $R_2 \times I$ ），故與電阻（ R_1 及 R_2 ）成正比。卽各個

電阻所消耗的電功率與本身電阻之大小成正比。例如100 V～40 W 之燈泡與 100 V～60 W燈泡，串聯接上 100 V之電源，則因 40 W 之燈泡之電阻比 60 W者大，因而光度較強。如果將同樣粗，且同一長度之鐵線與鎳鉻線串聯在一起，則因鎳鉻線之電阻大而發熱量較多。

【Ⅱ】電阻之並聯

總電壓與每一電阻之電壓相等。

$$V=V_1=V_2\cdots\cdots$$

總電流（I）爲通過各電阻的電流（I_1，I_2，I_3，……）之和。

$$I=I_1+I_2+I_3+\cdots\cdots$$

合成電阻（R）與各電阻（R_1，R_2，R_3，……）之關係爲

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots\cdots$$

每一電阻所消耗的電功率與電阻成反比，即電阻越小消耗電功率越多。

如圖 13—240所示，$I_1=\dfrac{V}{R_1}$，$I_2=\dfrac{V}{R_2}$

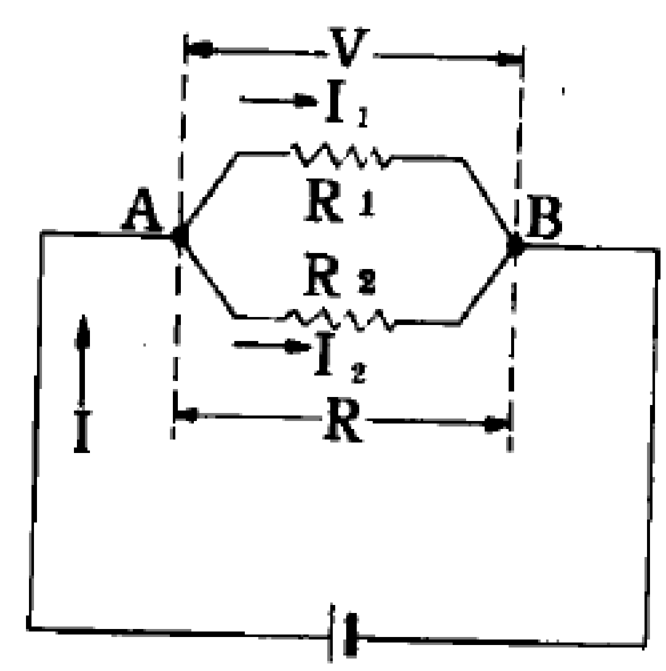


圖 13—240

總電流

$$\begin{aligned}I&=I_1+I_2\\&=\frac{V}{R_1}+\frac{V}{R_2}\\&=V\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)\end{aligned}$$

設總電阻爲R時，由歐姆定律

$$I=\frac{V}{R}=V\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

故

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

由此可推知總電阻的倒數，等於各分電阻倒數之和。

並聯時，各電阻兩端之電壓相等，因此所消耗之電功率與流過各電阻之電流（I_1 及 I_2）成正比。流過各電阻之電流爲電壓÷電阻（V/R_1 及 V/R_2），因電壓相等，故與電阻成反比。亦即每一電阻所消耗之電功率與電阻之大小成反比。如同樣粗細，且同一長度之鐵線與鎳鉻線並聯接上電源，則因鐵線之電阻較小發熱量較多，溫度較高。瓦特數越大之電熱器或燈泡，其電熱線或燈絲之電阻越小。

改變 1 個電阻之大小後，流過該電阻之電流發生變化，因此，其所消耗的電功率亦發生變化，但其他電阻內之電流並未發生變化，因此其所消耗的電功率亦不發生變化。家庭用電器並聯接至電源便是這種緣故。

【Ⅲ】特種並聯

1. n 個電阻相等之導線並聯時，$R_1 = R_2 = R_3 \cdots\cdots = r$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} \cdots\cdots$$

$$= n \times \frac{1}{r}$$

$$R = \frac{r}{n}$$

2. 分路（*shunt*）——相並聯的二電阻爲另一電阻之分路

因 $V = V_1 = V_2 = \cdots\cdots$

即 $IR = I_1R_1 = I_2R_2 \cdots\cdots$

故 $I_1 = \dfrac{R}{R_1} I \qquad I_2 = \dfrac{R}{R_2} I \cdots\cdots$

通過各分路之總電流強度與其電阻成反比。

且因 $R = \dfrac{R_1R_2}{R_1 + R_2}$

可知通過每一分路中之電流爲

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \qquad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

在應用電流計時，爲使通過計內電阻線上之電流減弱，常並聯一低電阻導線。設電流計內電阻爲R_t，欲使通過其中之電流I_t爲原有電流（I）之$\frac{1}{n}$。

其分路電阻（R_s）之大小可由上式推知

$$I_t = \frac{I}{n} = \frac{R_s}{R_t + R_s} I$$

故 $$R_s = \frac{R_t}{n-1}$$

即使分路電阻爲電流計內電阻之$\frac{1}{n-1}$，可使計內電流爲原量的$\frac{1}{n}$。

【電阻之溫度係數】（Temperature coefficient of resistance）

每一歐姆電阻在攝氏表一度之變化因數。

【電阻之種類】（Kinds of resistance）

電阻可分二類：

1. 內電阻（*internal resistance*）——內電路上的電阻。
2. 外電阻（*external resistance*）——外電路上的電阻。

【電阻反饋】（Resistance feedback）

所謂反饋，係將後級放大器的輸出電能，送回一小部分至前級的放大電路，或將一放大器的一小部分輸出電能送回到本身的輸入電路。若輸出部分的反饋電能和輸入電路的電能相位相同時，稱爲同相反饋（*in phase feedback*）或正反饋（*positive feedback*），正反饋足使輸出波型產生失眞。正反饋如加以適當控制到臨界點（*critical point*）時，

可使放大器的放大力達於頂點。如超過臨界點時，則因放大器獲致反覆的放大而產生等幅振盪，以致破壞放大作用。在聲頻擴音機中將引起吼聲（*howling*）或汽船聲（*motor boating*）。但等幅振盪卻在射頻電路中為產生放射性電能即無線電波的重要條件之一。

若後級輸出電能反饋至前級異相（*out of phase*）電路時，稱為負反饋（*negative feedback*）。負反饋將抵銷放大器的一部分放大力而減低電能的輸出，但可減少各種失眞現象，故用於聲頻放大器中，可使音質大為改善，而成為改善擴音機或收音機音質不可或缺的一種簡便方法。

正反饋適用於射頻、超聲波或聲頻振盪器，負反饋適用於聲頻放大電路中。

引導電能反饋的方式甚多。電阻、電容或電感，都能產生同樣的結果，而以電阻反饋最為簡單，但電阻反饋不適用於射頻電路。

電阻反饋缺乏頻率的選擇性，適用於聲頻電路。

電阻反饋法大都被用於聲頻放大器的負反饋電路中，目的在抵銷一部分高音（*high pitch*）部分的放大率，以增加低音（*bass*）的相對強度而改善音質。因為高音部的振幅（*amplitude*）較低音部為高。而且放大器由於組件及頻率的特性，對高音部的放大力較大。經負反饋作用以後，高音部的損失大於低音部的損失，因此可改善放大器頻率響應曲線的平直性，在小型擴音機或收音機中，低音的相對增強，更可顯著適應人耳聽覺反應的特性，而覺得音質有所改善，特別是適用於放送音樂。

【電阻定律】（Law of resistance）

導線之電阻R與導線之長度L成正比，與其截面積A成反比。

$$R=\frac{\rho l}{A}$$ （ρ表電阻率，隨導線之性質而異）

而在

1. 同物質，長度一定時，電阻和截面積成反比。

$$R_1 : R_2 = A_2 : A_1$$

2. 同物質，截面積一定時，電阻和長度成正比。

$$R_1 : R_2 = L_1 : L_2$$

3. 同物質，電阻一定時，長度和截面積成正比。

$$L_1 : L_2 = A_1 : A_2$$

4. 同一導線，將其拉長 n 倍，則導線的總電阻等於原電阻的 n^2 倍。

拉長 n 倍後的總電阻 $= n^2 \times$ 原電阻

即 $$R = n^2 r$$

【電阻率】(Specific resistance)

當導線溫度不變時，其電阻與導線內的電流大小無關；但電阻與導線的長度 L 成正比，與其截面積 A 成反比，即

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

式中比例常數 ρ 就是該導體的電阻率，其值隨導體之不同而異。電阻率的實用單位爲歐姆 /厘米。

一物質之電阻率愈小，導電性愈佳。電導率 (*specific conductance*) 爲電阻率之倒數 ($\frac{mho}{cm}$)。

幾種重要金屬之電阻率

物　質	電阻率 (Ω / cm)
銀	0.016
銅	0.017
鋁	0.032
鎳	0.08 ～ 0.11
鐵	0.09 ～ 0.15
錳銅 (銅與錳之合金)	0.42
康銅 (銅與鎳之合金)	0.49
水銀	0.958

【電阻損失】(Resistance loss)

電流通過電阻，因發熱而將電力損耗。普通以 I^2R 計算之。

【電阻溫度計】(**Resistance thermometer**)

長細金屬線式的電阻溫度計，通常繞在一個薄架上，使該金屬線不致在冷卻收縮時產生過度的應變（ *strain* ）。在特殊情況裏，金屬線可能繞在待測溫度的物質上，或裝入該物質之中。在極低溫範圍裏，電阻溫度計常用小枚碳質無線電電阻器（ *carbon-composition radio resistor* ），或滲有砷的鍺晶體做成，並封入一個充滿氦的囊中。這些可以縛於待測溫度的物質之表面，或置入爲量溫度而鑿的洞中。

通常量電阻的方法是：維持一已知的定值電流通過該溫度計，並用很靈敏的電位計量取跨越溫度計的電位差。典型的電路見於圖 13 — 241，使電流保持定值的方法是調整一個變阻器，使跨過與溫度計串聯之一標準電阻器的電位差，用一個監測電位計（ *monitoring potentiometer* ）觀測這電位差使其保持一定。

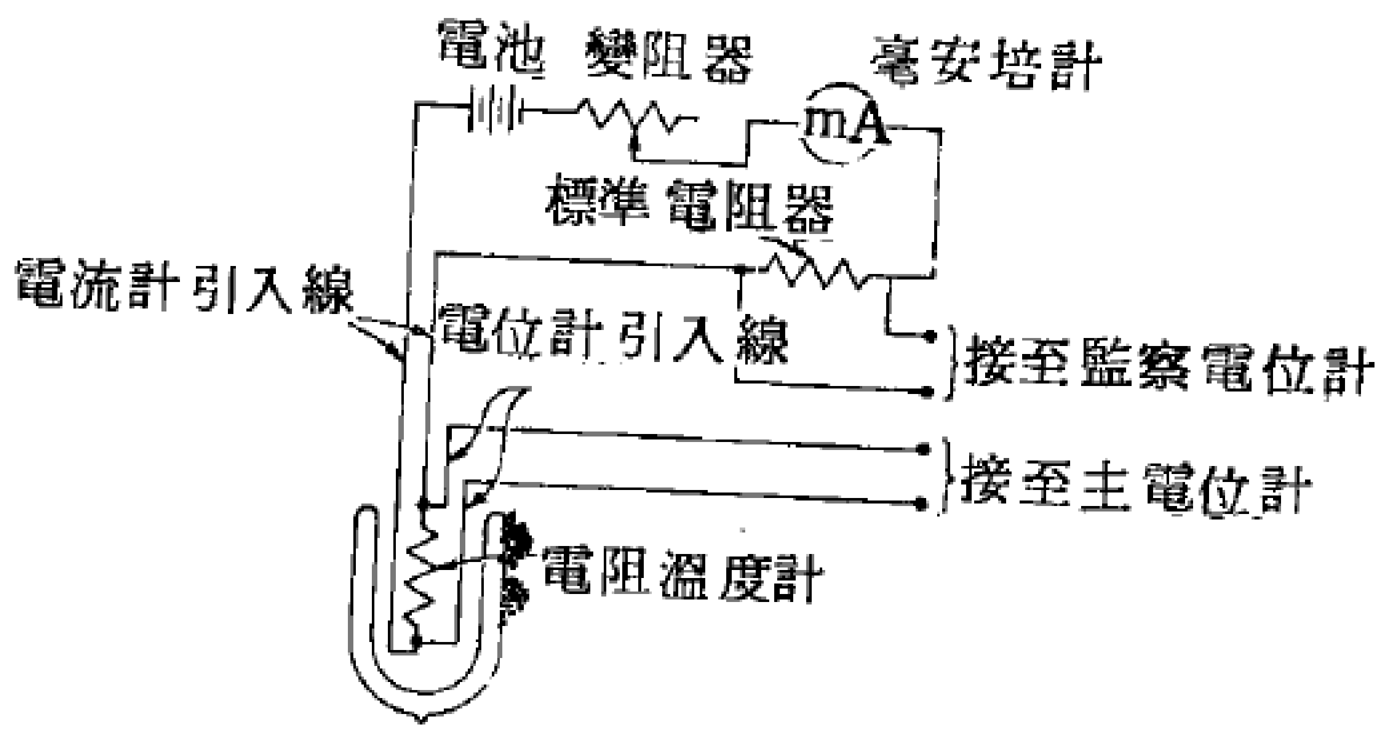


圖 13 — 241
測定電阻溫度計之電阻的電路（有一個定值電流維持通過該溫度計）

鉑電阻溫度計在 253 ～ 1,200 °C 的範圍內，可作極精確的測定。這種儀器的校準是要測定在種種已知溫度時之電阻 R'_{Pt} ，並把結果用一個經驗公式表示出來。在有限度的範圍內，通常使用下列二次方程式

$$P'_{Pt} = R'_0 \ (1 + At + Bt^2)$$

其中 R'_0 是鉑絲用三相點處的水包圍時之電阻， A 和 B 是兩個常數。

【電阻電容時間常數】(**Resistance-capacitance time constant**)

一電阻與電容的串聯電路，其充電和放電的過程完全受 R 電阻值的

控制。R和C的乘積，構成此串聯電路的時間常數（*time constant*）。即

$$t = RC$$

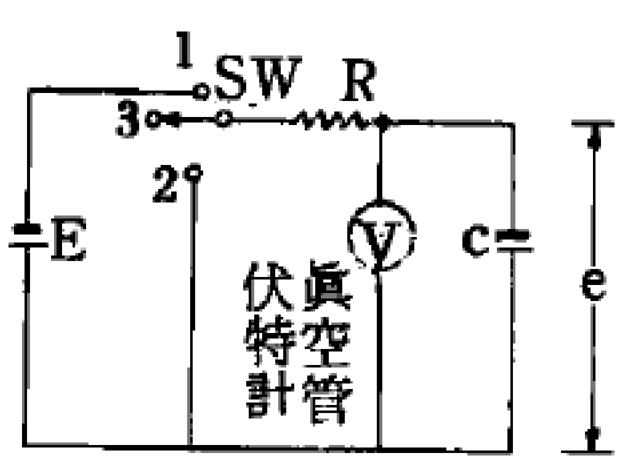
式中 t 爲時間，單位爲秒。R 爲電阻值，單位爲歐姆。C 爲電容量，單位爲法拉。t 也可用微秒（μ *sec*），實用上多數場合都以微秒爲單位。R 可用百萬歐姆（$M\Omega$）爲單位，C 可用微法（μf）爲單位。

【電阻電容混合電路】（R.C. composite circuit）

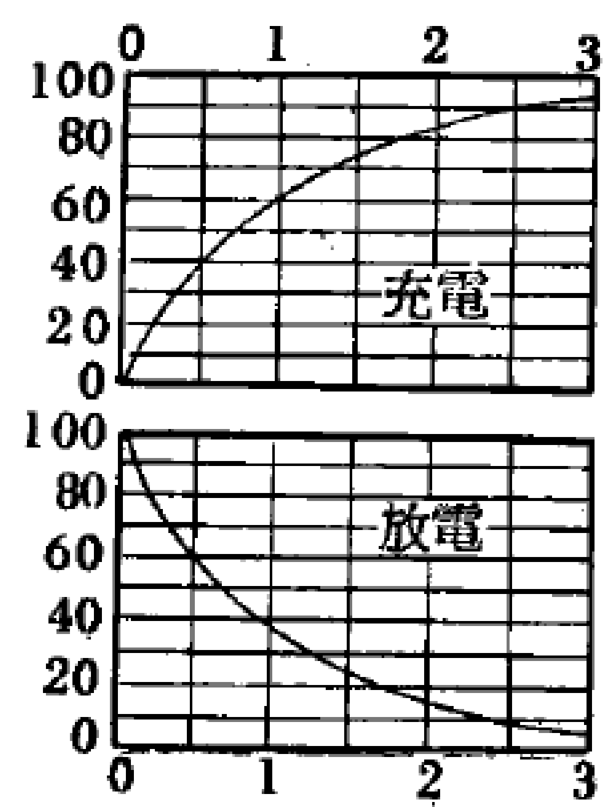
電阻器和電容器的混合電路，簡稱$R.C.$電路。雷達、電視及一切工業或武器的遙控（*remote control*）電路中，最重要的同步（*synchronization*）和控時（*timing*）作用，以及特殊波型的製造，大都利用$R.C.$電路的時間常數之特性而完成。

此外，$R.C.$電路在一般基本電子電路中，更從事於濾波、分壓、倍壓、電壓平衡、移相振盪及耦合與解耦等非常重要的工作。

一$R.C.$串聯電路的充電和放電過程，參閱圖 13－242。當圖(*a*)中的開關SW撥向 1 端時，電源E即有電流經電阻R而向C充電。今用一不吸收電流的眞空管伏特計（*vacuum tube voltmeter*）v，以正確指示電容器被充電時電壓e升高的過程。如果R和C都相當的大，則電容器上電壓e的升高過程，可用一停錶（*stop watch*）予以計時。於是便可看出，當SW將串聯電路經電源E而閉路的瞬間，伏特計V將立刻指出e的急速升高。到一相當的數值後，e值的升高速率便漸漸減低。此即表示電容器的充電率（*rate of charge*）開始時



(a)



(b)

圖 13－242

最大，並隨充電時間的進行而愈趨愈小，直至電容器上的電壓 e 等於電源電壓 E 的時候，充電便停止了。

$R.C.$ 串聯電路的充電過程，並不是循直線式正比進行，而是循指數曲線（ *exponential curve* ）進行的，換言之，其與時間的關係是對數式的。若用數學式說明電源電壓 E 和充電電壓 e 的關係，則

$$e = E \left(1 - e^{-t/RC} \right)$$

此處 e 爲自然對數的底數，其值爲 2.718 。 t 爲充電過程的時間，單位爲秒。R 爲歐姆，C 爲法拉。

當充電過程 t 等於 RC 時，指數 e 爲 -1。$e^{-1} = 1/e = 1/2.718 = 0.368$。若用百分率表示此 $R.C.$ 網路的充電率，則等於 $1 - 0.368 = 0.632 \fallingdotseq 63\%$。換言之，即在 $R.C.$ 時間常數的控制下，電容器 C 每秒鐘的充電過程，只及電源電壓 E 的 63％ ，而在第二秒鐘的充電過程中，再就其剩餘的 37％的電壓充電 63％，而達 86％ 。第三秒鐘則又就 14％的剩餘電壓，再充電 63％而達 96％。如此循時間常數繼續充電到接近電源電壓的完全充電狀態爲止。所謂接近電源電壓，是因爲電容器有漏電及介質的耗損，所以事實上任何電容器都不可能被十足充電。已充電的電容器上的電壓，在數學的說法上稱爲虛電壓（ *imaginate voltage* ），而稱電源電壓爲眞電壓（ *true voltage* ）。可是在電學上則猶如正電壓和負電壓一樣，這虛電壓同樣可致人於死！因爲那是實實在在存在的電壓，所以在處理電容器時務必小心，先把電容器作放電的試驗，以策安全。

當將開關撥向 2 端時，已充電的電容器 C ，將經由電阻器 R 而放電。其放電過程和充電時相反相等，第一秒鐘先降低已充電壓的 63％ ，剩下 37％ 。第二秒鐘以後依此類推，直到放完爲止。可見放電的時間常數，就是使電容器放電到滿量的 37％ 所需的時間。不過任何電容器，因其介質有吸收電能的作用，所以也不可能完全把已充的電釋放乾淨

，如非加以短路，總有極微電量的殘存。附圖 13—242(b) 中的曲線下部，便是表示這一意義，也是實驗的眞實結果。

【電阻、電容、電感串聯電路】(Resistance，capacitance，inductance series circuit)

電阻、電容、電感串聯電路簡稱RCL 串聯電路。如圖 13—243。

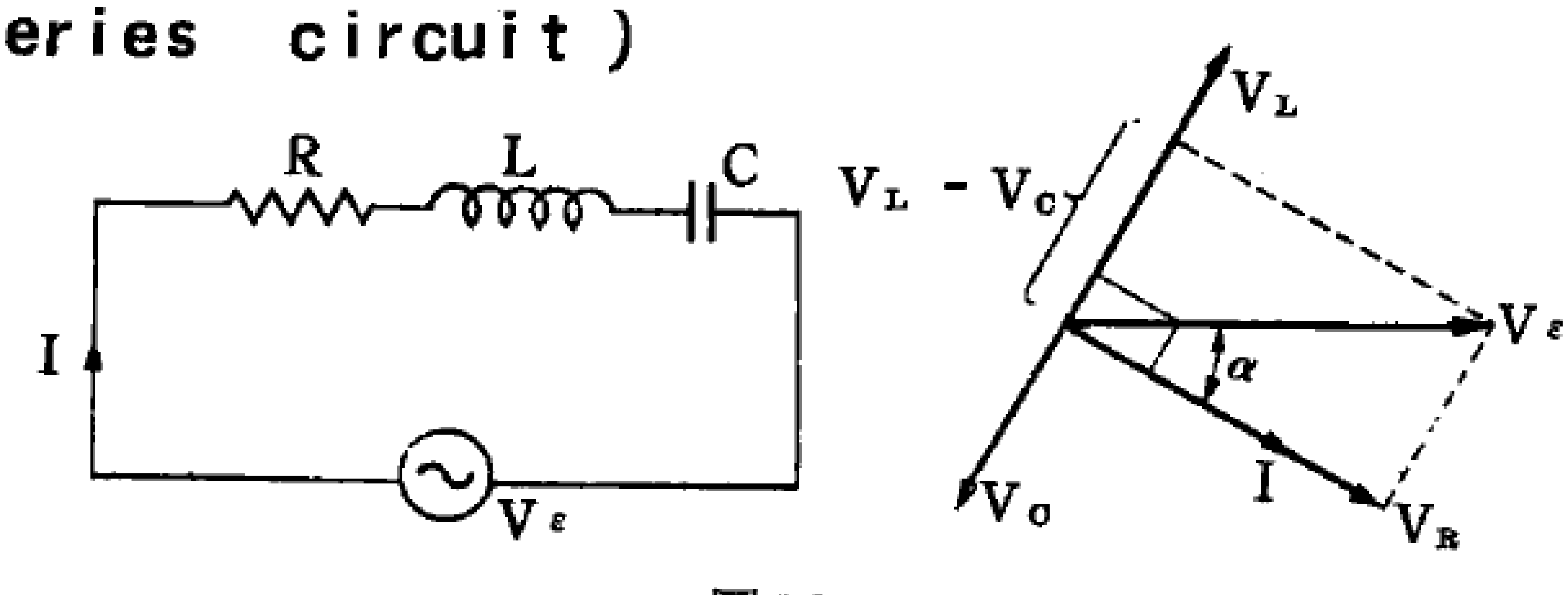


圖 13—243

	振幅	相位
跨越電阻器之電位降落，V_R ：	RI_0，	與 I 同相位
跨越感應器之電位降落，V_L ：	ωLI_0，	超前 I $\frac{\pi}{2}$
跨越電容器之電位降落，V_C ：	$\frac{1}{\omega C}I_0$，	落後 I $\pi/2$

此三個轉動向量示於圖 13—243 中，圖中之參考線 (*reference line*) 取在對應於V_ε 之轉動向量。因合向量必須等於V_0 ，從圖知

$$V_0 = \sqrt{R^2 I_0^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2 I_0^2}$$

或
$$V_0 = I_0 \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

【電阻電容耦合】(Resistance-capacitance coupling)

利用電阻及電容器將兩級電子管連絡之謂。

【電阻電容耦合放大器】(Resistance-capacitance coupled amplifier)

電子管放大器以電阻爲加載，下級柵亦以電阻爲加載，兩級則以電容器耦合。

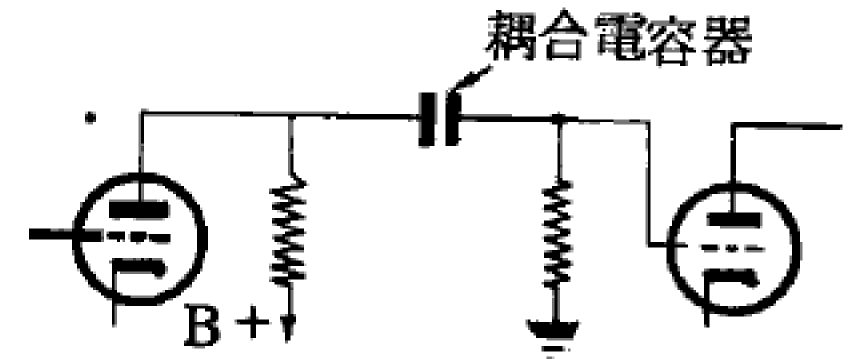


圖 13—244

如圖 13— 244 所示。當放大器中用兩級或兩級以上放大時，每級的交流屏極電壓，須經耦合電容器和電阻器，反饋至次級的柵極。

【電阻電路】(Resistance circuit)

電阻電路簡稱R電路，在此電路上之電流與跨接電動勢同相位（ $\alpha=0$ ），並且I_0之振幅爲

$$I_0=\frac{V_0}{R} \quad 或 \quad V_0=RI_0$$

其向量圖解示於圖 13— 245(*b*)。

$$V_R=RI$$

是跨越此電阻之電壓降落，它與電流同相位。

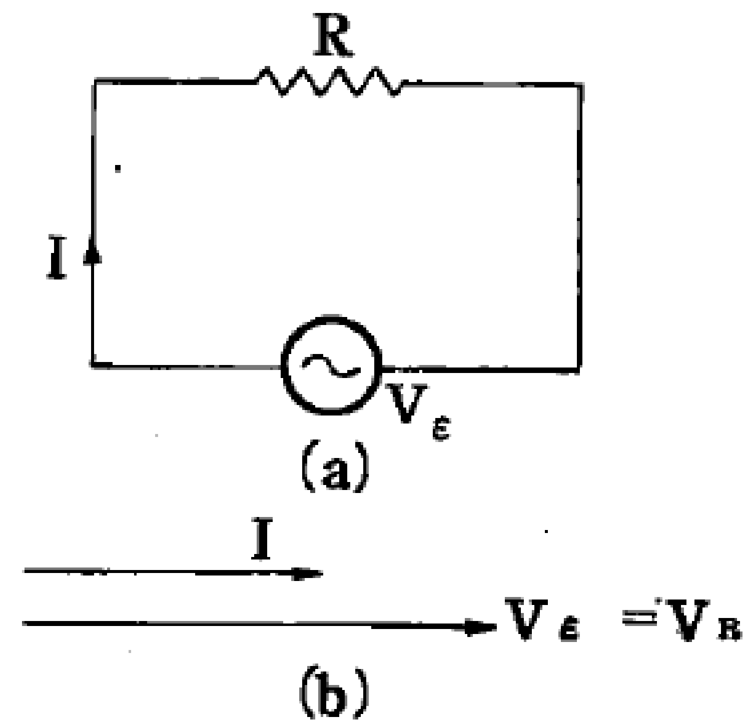


圖 13— 245

【電阻、電感並聯電路】(Resistance inductance parallel circuit)

簡稱爲RL並聯電路，兩電路基素上之電動勢相同，但電流是不同的。跨越電阻器上之電流I_R與跨接電動勢同相位，而它的振幅爲

$$I_{0,R}=\frac{V_0}{R}$$

跨越感應器之電流落後跨接電動勢一個相位角$\pi/2$，而其振幅爲

$$I_{0,L}=\frac{V_0}{\omega L}$$

對應於I_R和I_L之向量示於圖 13— 246 中。總電流可表爲

$$I=I_0\sin(\omega t-\alpha)$$

式中$I_0=\sqrt{I^2_{0,R}+I^2_{0,L}}$　　或

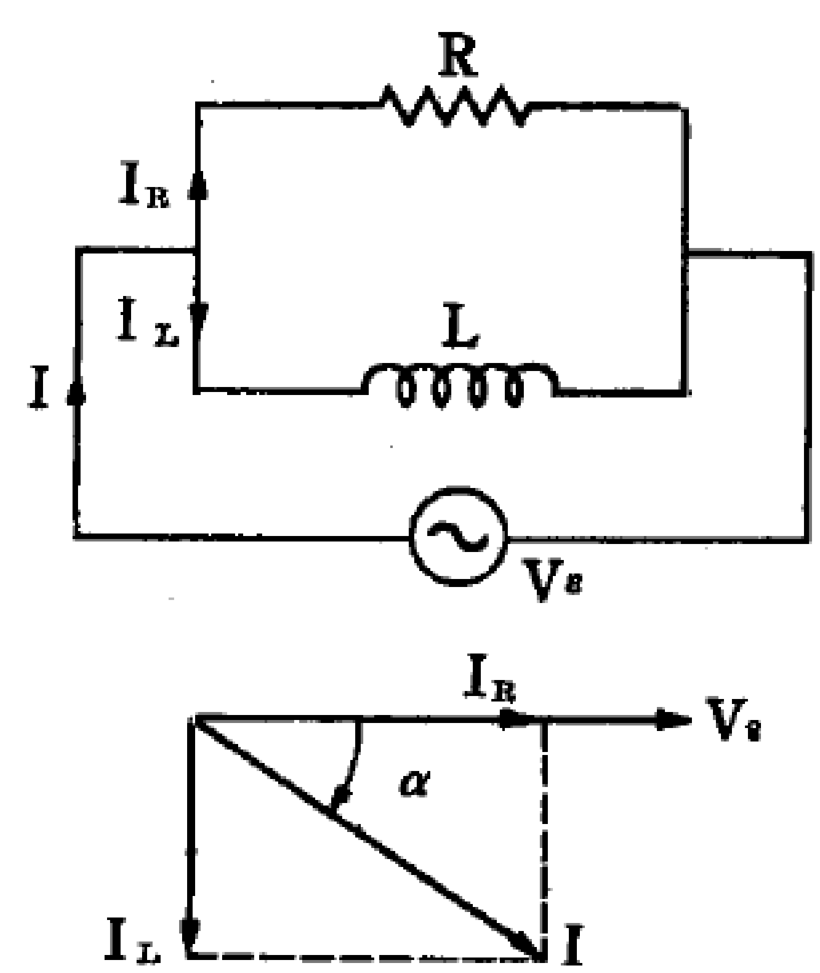


圖13— 246

$$I_0 = \sqrt{\left(\frac{V_0}{R}\right)^2 + \left(\frac{V_0}{\omega L}\right)^2} = V_0\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{\omega^2 L^2}}$$

因 $I_0 = V_0 / Z$，此電路之阻抗為

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{\omega^2 L^2}}$$

而相位差為

$$tan\ \alpha = \frac{I_{0,L}}{I_{0,R}} = \frac{R}{\omega L}$$

【電阻線】(Resistance wire)

由高阻值合金所製成之導線。

【電阻箱】(Resistance box)

係裝在一個箱子內的一組電阻器，可將箱中的一個或數個電阻接於電流之電路中，以任意增減電阻之器材。其構造如圖 13 — 247：將厚金屬切斷為若干部，令其互相絕緣，其切斷處，以金屬線圈連絡之，另以金屬棒附於含硫膠皮，令其粗細恰合於圓孔，以作栓塞，將塞嵌上，則電流可由各厚金屬片與栓塞流通，電阻等於零，除去塞時，電流必經線圈。各線圈之電阻不同，如 1, 2, 2.5 歐姆等，與稱重用的砝碼相類似，均於製電阻箱時，標記於箱蓋上。若將第一個栓塞拔出，則電流必須流經電阻為 1 歐姆的第一個線圈。以此電阻箱置於電路中，選擇適當的栓塞，便可得任意數值之歐姆電阻。

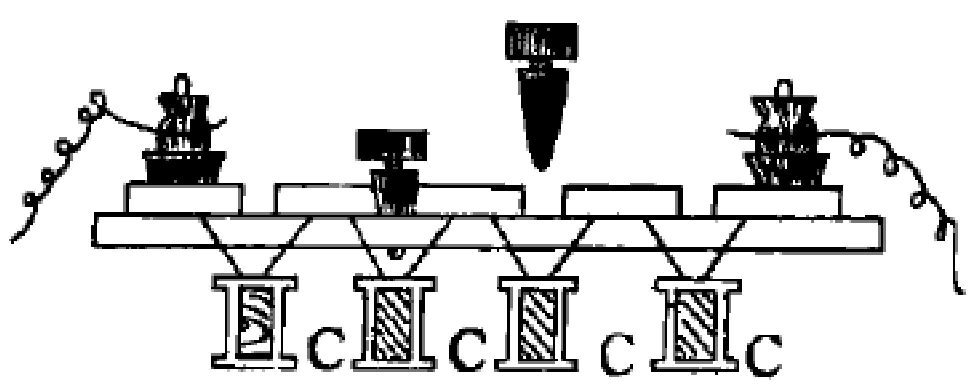


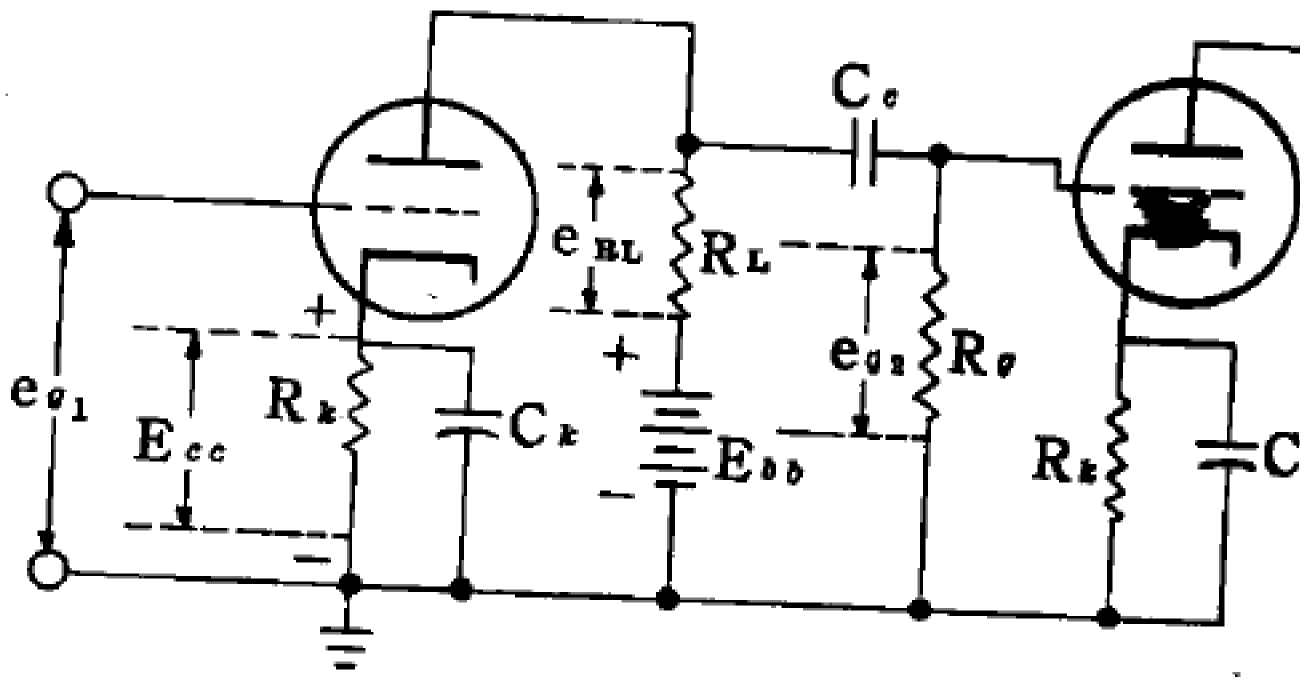
圖 13 — 247

【電阻耦合放大器】(Resistance-coupled amplifier)

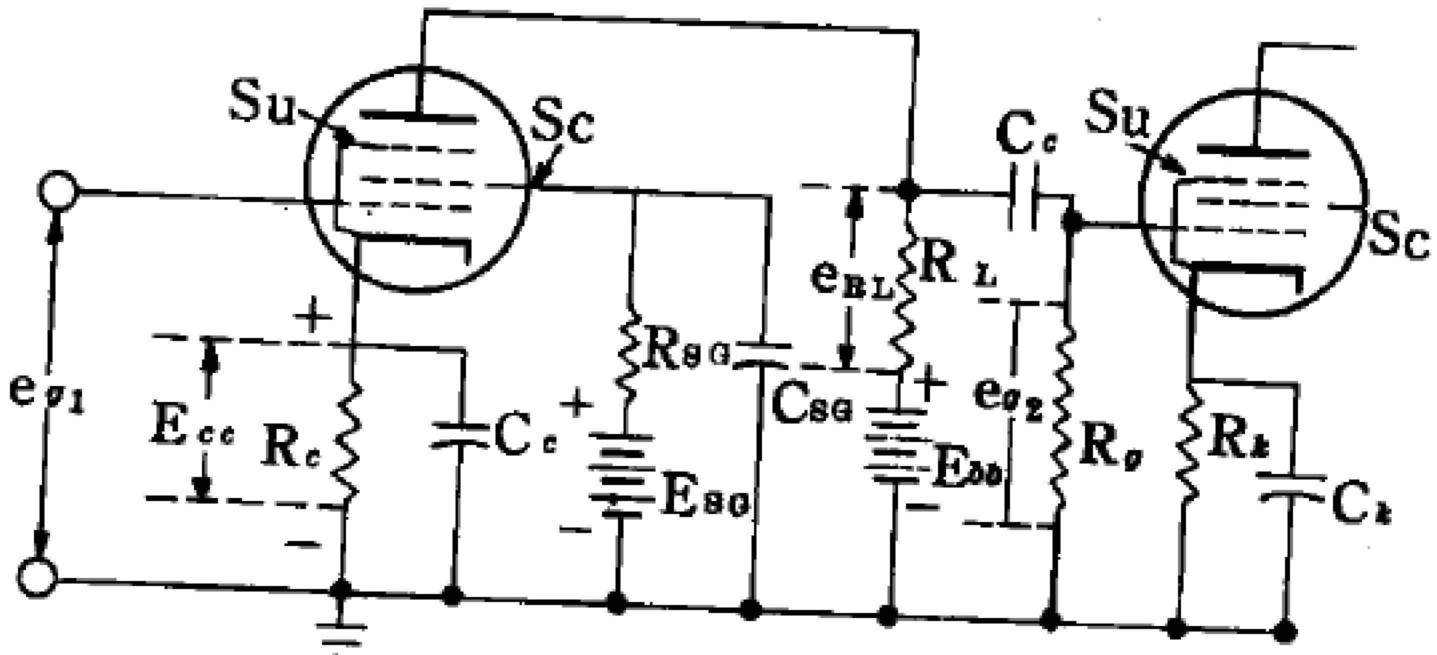
又名直接耦合放大器，兩級間之輸出與輸入耦合純由電阻擔任。

在所有的耦合方式中，電阻耦合是最普遍的一種。因此種耦合電路便宜，且作用於聲頻電波信號時傳真度(*fidelity*)高。圖 13 — 248

(*a*)、(*b*)示電阻耦合式的三極管放大器與五極管放大器。



(a)三極管電路



(b)五極管電路

圖 13—248

自給偏壓電阻耦合放大器

三極管放大電路的第一級放大器，與三極管基本放大器電路相同，所不同的一點，就是控制柵壓電源 E_{cc} ，在圖 13—248(*a*)中，已被陰極電路中的自給偏壓電阻 R_k 所代替。同時，陰極電路的自給偏壓電阻 R_k ，又與一旁路（*by-pass*）電容器 C_k 並聯。當屏極電流從屏極電源電池的正端，經負載電阻 R_L 、屏極、電子管、陰極及電阻 R_k。偏壓電阻 R_k 的上端爲正電壓，下端則爲負電壓（上端電壓高於下端電壓）。同時，負載電阻 R_k 的下端藉串聯信號電壓 e_g ，與控制柵相連接，所以控制柵電壓比陰極低（電阻 R_k 的上端與陰極連接）， 如此就可得所需的偏壓。這種偏壓方式，並且有某種程度的自動調節能力。如果屏極電源電壓 E_{bb} 稍有變動，因而直流屏極電流增加，偏壓電阻 R_k 的壓降增大，控制柵的偏壓也增大，因此可使直流屏極電流減少，從這一相互循環的事實可知，自給偏壓的存在，可使電流有自動調整的作用。相反的，如果直流屏極電流下降，偏壓電阻 R_k 的電壓降減低， 控制柵與陰極間的電位差也縮小，所以可促使直流屏極電流增大。由此可知，自給偏壓可使放大電路的作用保持穩定。

放大器的直流電壓，通常是由整流器所供給。如圖 13—248 第一級的交流輸出電壓（ e_{RL} ）經耦合電容器C_c， 送至第二級放大器的控制柵。但第一級的直流屏極電壓，因耦合電容器C_c的隔離， 而不能加在第二級的控制柵，否則會使第二級的控制柵電路產生控制柵電流。第一級的交流輸出電壓 e_{RL} ，加在第二級的控制柵電阻 R_g 上， 而得第一級的輸入電壓 e_{g2} 。同時，控制柵電阻 R_g 與第二級的偏壓電阻 R_k 連接，成爲偏壓與控制柵的廻路。

假設無旁路電容器存在，屏極信號電流 i_P 流經偏壓電路 R_k 產生電壓降，電阻 R_k 兩端的電壓降（ $e_{RK} = i_P \times R_k$ ）與負載電阻 R_L產生電壓降的情形相同，並且也就可以從偏壓電阻 R_k 兩端引出輸出信號電壓來。由於偏壓電阻 R_k 與控制柵電路連接，並且偏壓電阻 R_k 兩端的輸出信號電壓，與控制柵的輸入信號電壓 e_g 的相位相反， 兩者之間相互抵銷一部分，此種無陰極旁路電容器 C_k ， 而造成輸入信號電壓（ e_g ）減弱的現象，稱爲退化（ *degeneration* ）。 如果此退化現象在第一級放大器發生，對串級放大器的總放大效果有很大影響。在偏壓電阻R_k上並聯一個旁路電容器 C_k 後， 由於所選電容器 C_k 的值很大， 對於放大器的作用頻率而言，電容器是短路的，交流屏極電流 i_P 則直接經此短路而過，在偏壓電阻 R_k 上不會產生交流信號壓降 e_{RK} ，當然就不會減弱控制柵輸入信號電壓 e_g 。 對於電子管的直流屏極電流而言，此旁路電容器 C_k 如一絕緣體，直流屏極電流 I_b 完全流經偏壓電阻 R_k ， 產生所需要的偏壓 E_{cc} 。特別要注意：旁路電容器 C_k 在放大器的最低作用頻率時，其阻抗一定要比偏壓電阻 R_k 小得多才行。 通常旁路電容約爲25微法。有時爲了得到輸入信號電壓 e_g 的退化效果，故意不加並聯旁路電容 C_k 。

圖13—248(b)的五極管放大器電容，與三極管大致相同，只是對五極管所多出的兩個電極，需另外加兩個直流電壓而已。五極管的抑制柵

Su 通常與陰極的電位相同，所以只要將抑制柵直接與陰極連接，就可得相同的電位。簾柵 Sc 的外加直流作用電壓必須是正電壓，但通常均較屏極的直流作用電壓低。圖 13—248(*b*) 的簾柵作用電壓，是由一個與簾柵降壓電阻 R_{SG} 串接的電池（E_{SG}）所供給。在實用上，簾柵與屏極作用電壓，是由同一電源所提供，屏極作用電壓與簾柵作用電壓大小不同，但這可由適當選擇電壓降電阻（R_{SG} 與 R_L）求得。簾柵電路的旁路電容 C_{SG}，其作用與陰極電路的旁路電容 C_k 相同。

【電阻器】（**Resistor**）

對通過電流付出阻力的零件。有電阻之導體亦稱爲電阻器，圖示法如圖 13—249 所示。爲適應電子電路中的不同用途，電阻器的型式與構造材料頗有不同。主要分爲碳質電阻（*carbon resistance*）及線繞電阻（*wire wound resistance*）兩大類。



圖 13—249
電阻器之圖示法

【Ⅰ】碳質電阻器

碳質電阻器係用碳精（*carbon*）或石墨（*graphite*）粉混以絕緣性物質，在壓力與高溫下製成。其優點爲體積小而成本廉，爲任何電子裝備中使用最多的零件。固定式（*fixed*）碳質電阻器主要成分爲碳精粉；可變式（*variable*）者爲石墨粉。碳精粉質地粗硬，石墨粉則比較細軟勻淨。

固定碳阻器的阻值範圍約在五十歐姆至百萬歐姆之間。有實心及空心兩種製品。空心的目的在增加散熱面。若干成品並刻有細槽（*slot*），目的在減少分佈電容的作用，以適應較高頻率電路中的要求。

碳阻有負溫度係數的特性。溫度過高，阻值會變小，且雜音大增。因此，在有較大電流通過之處，必須選用有充分散熱能力的電阻器。並應注意力求焊接妥貼，以免接觸不良而發生高熱。一方面還須注意佈線與電阻器的散熱空間。

碳阻器的耐熱力以瓦特量表示。瓦特量愈大其體積愈大。商品碳阻的耐熱力有 20*W*，10*W*，5*W*，2*W*，1*W*，1/2*W*及 1/4*W* 等數種。耐熱值大都無直接標示，由體積大小可以根據經驗認取其大概。由於電子電路中常常零件密佈，而影響碳阻的散熱空間，故在選用時應按計算所得的散熱量，採用至少兩倍的耐熱值爲宜。碳阻的需要耐熱力，可根據碳阻兩端所加之直流電壓伏特數及其經過電流的安培值以計算之，即

$$P = EI = I^2R$$

串聯、並聯或串、並聯後的電阻器，因散熱面積加大，若通過各電阻的總電流值不變，則其耐熱力即爲各電阻器耐熱量之和。

由碳阻器發生的雜音程度，視其產品的優劣而異。劣質的碳阻爲隱藏雜音之源。因爲碳阻器係由粉粒壓結而成，其粉粒與絕緣質混合既不可能絕對匀淨平均，且因粉粒之接觸點間有接觸電阻之存在。而且接觸電阻之大小隨電流的變動而變動。其雜音程度約與電流的強度成正比。

雜音強度以微伏（μV）計，而電流強度又與電壓成正比。故表示碳阻的雜音強度，即爲每伏特微伏數（$\mu V/V$）。 此種雜音，俗稱電流雜音。

【Ⅱ】線繞電阻器

線繞電阻器係將錳（*Mn*）、銅（*Cu*）或鎳（*Ni*）等電阻線捲在耐熱性絕緣陶器上，並與陶器平行方向裝上金屬棒，在棒上裝置滑動片而構成。

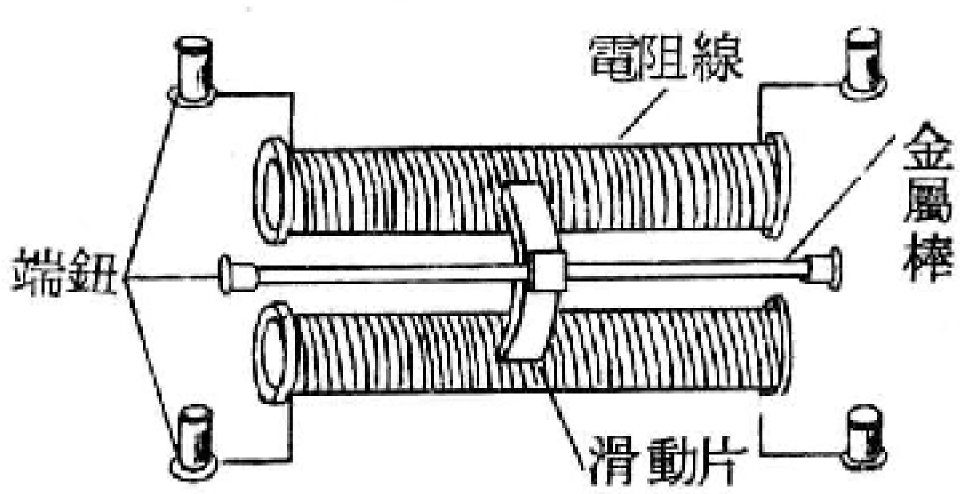


圖 13 — 250

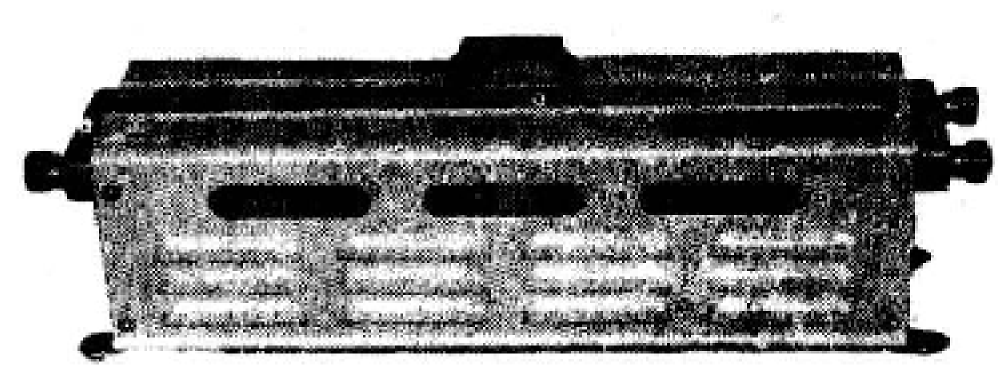


圖 13 — 251

電阻線只使用一組時稱爲單型，如使用並聯兩組電阻線時則稱爲雙

型（圖 13—250）。

又有在裝置整體上，加罩金屬蓋外型的，如圖 13—251。

【電阻橋】（Resistance bridge）

指測量電阻用的惠司同電橋（*Wheatstone bridge*）。

參閱"電阻（*Resistance*）"條。

【電性之中和】（Neutralization of electricity）

指正負兩種電在一起，互相抵銷其性質。即帶電的物體失去電，也就是物體中的正電總量與負電總量相等，整個來說，不對外界顯示其帶電特性的情形。

【電花光譜】（Spark spectrum）

離子所放射的光譜，一般多由電花通過一金屬與另一金屬之間時所激發而產生，故稱電花光譜。He^{+}的光譜與氫原子光譜類似，僅由於 He 的原子序數爲$Z=2$及原子核質量約四倍於氫原子核，而使其譜線頻率約四倍於氫光譜。Li^{++} 光譜也與氫光譜類似。一個電子被游離的離子之光譜，又稱爲一階電花光譜；二個電子被游離的離子之光譜稱爲二階電花光譜；餘此類推。

【電花室】（Spark chamber）

利用氣體放電原理而製成的高能粒子探測器。電花室是由許多薄金屬板層重疊而成，每隔一金屬板在適當時間內加一萬伏特之高電壓，其餘板均接地（例如以奇數金屬板接高壓電，偶數板接地）。每板間隔約爲八厘米，全部封閉在容器內，並充滿惰性氣體，氣壓保持在一大氣壓以下。通常每次加高電壓的時間約爲 0.2毫

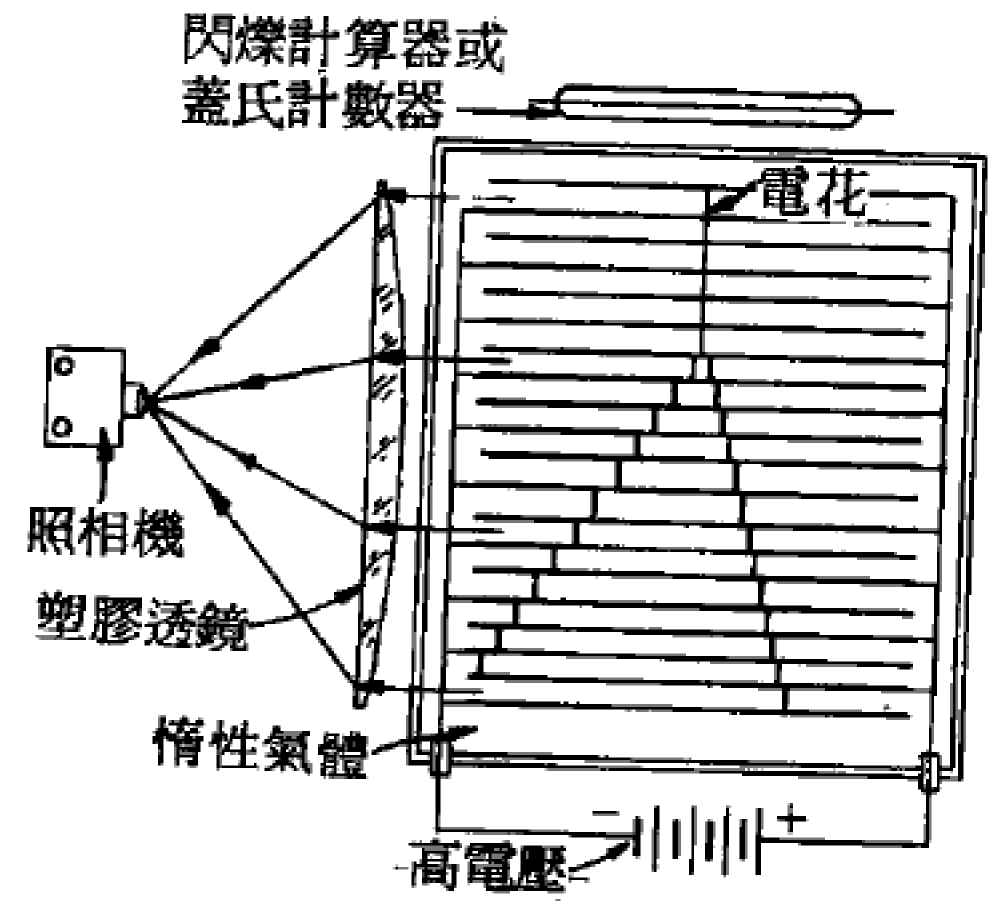


圖 13—252

秒，電花室能感應的時間約為0.5微秒，即當高能帶電粒子在此週期內射入時，沿其徑跡在各板間產生火花放電，以照相機攝取後可分析入射粒子徑跡、種類及能量等資料。在實驗室常用兩個互成直角的照相機以拍攝入射物所留下的徑跡。圖13—252是電花室的截面圖。

在放電過後，再在金屬板上加上較低的相反電壓，以驅除多餘的游離電子而使電花室恢復原狀。電花的痕跡並不太細，同時如果粒子的方向和金屬板面不太近直角的話，電花的痕跡也不會完全跟隨粒子的路程。因此，電花室的空間鑑別（*space resolution*）要比氣泡室差些，而其時間鑑別，卻遠比氣泡室好。普通從粒子通過到電花室放電，所需的時間，大概是 10^{-6}秒左右，而游離電子在電花室內可逗留的時間，大概也是這麼長。換句話說：如果入射的粒子的密度為每秒 $10^5 \sim 10^6$左右，電花室還是可以利用計數器和符合裝置去選擇所需要的事件（*events*）而放電。這種高度的選擇能力使電花室的照片非常單純，容易被觀察與量度。

【電花譜線】（Spark lines）

參閱“電花光譜（*Spark spectrum*）”條。

【電風】（Electric wind）

曲率相等的導體各部分，其電荷分佈均勻。由於電荷推斥力的作用，故電荷分佈於導體外表與尖端；前者為電荷遠離的結果，後者為居於斥力較小處的現象。由於尖端作用，導體曲率較大處，其表面密度（$\frac{Q}{A}$）亦較大，置尖體於起電機之一極，即可產生電風。

【電洞】（Hole）

鍺（*Ge*）和矽（*Si*）是電子器材中最重要的兩種半導體。這兩種材料的結晶單位組織是四面體，每一頂點有一原子。圖13—253 是這種結構的二維空間圖形。

每個鍺原子有三十三個電子。在晶體中每個鍺原子供給四個價電子

與鄰近四原子分享，兩原子間的電子對形成共價鍵，圖中以虛線代表之。

在低溫時（接近 $0°K$），晶體的構造近乎圖 13—253 的理想情形，沒有自由載體，因此類似絕緣體。然而在室溫時，晶體受熱能的影響，有些共價鍵會折開，價電子脫離晶體成為自由電子，隨意行動，所留下的空缺稱為電洞。圖 13—254 中電洞以小的空圓圈代表。（室溫時，打破一個共價鍵所需的能量就鍺而言是 0.72 電子伏特，矽則是 1.10電子伏特）

當一共價鍵不完全，有電洞存在時，鄰近原子的價電子就比較易於離

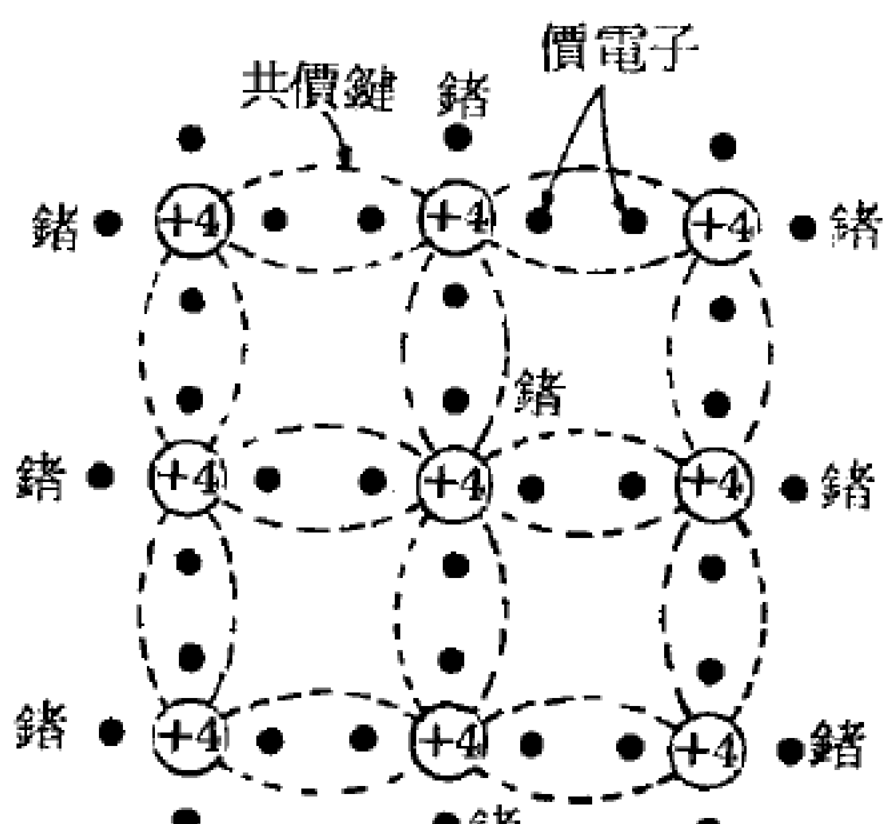


圖 13 — 253
鍺晶體結構的二維圖形

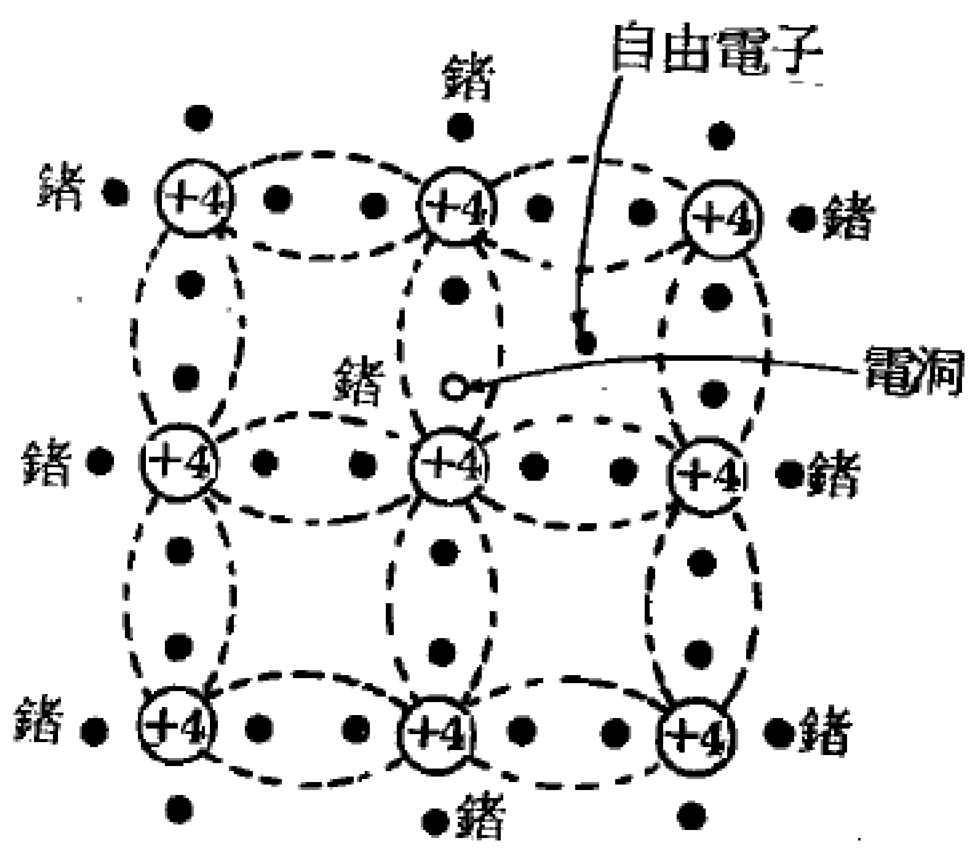


圖 13 — 254
有一斷鍵的鍺晶體

開它本身的共價鍵來填補此電洞，而在其原處留下一新的電洞。所以，電洞等於向電子移動的反方向運動，此新的電洞又可以被另一價電子來填補。這表示一個電洞朝一方向移動時，實際上等於一個負電荷向反方向移動同一距離。因此，電洞彷彿是一個與電子電荷相等的正電荷，電洞的運動方向就是電流的方向。

電洞的物理性質必須從能帶理論解釋，若能帶已填滿電子，由布里元區（*Brillouin zone*）的定義，能帶的波向量總和等於零，如果狀態 $\overrightarrow{K_i}$ 的電子失去，則整個系統的波向量就是 $-\overrightarrow{K_i}$。由電洞的觀點看

，整個能帶只有一個電洞，其波向量就是$-\vec{K}_t$。因爲電流是$-e\cdot(-V_t)=eV_t$，以電荷e的電洞作導電性的主角，則電洞的速度就是V_t。電洞的速度與電子相同，則電洞所受的羅倫玆力(*Lorentz force*)就是

$$\vec{F}=e\ (\vec{E}+\vec{V}_t\times\vec{B})$$

電洞在電磁場中所受的力正好與電子所受的力大小相等，方向相反，其有效質量的定義：

對電子而言　　$m_e{}^*d\vec{V}_e/dt=-e\vec{E}$

對電洞而言　　$m_h{}^*d\vec{V}_h/dt=e\vec{E}$

但　　$\vec{V}_e=\vec{V}_h$

故　　$m_h^*=-m_e{}^*$

即電洞的有效質量＝－電子的有效質量。

【電洞軌道】(Hole orbit)

在一電磁場中電洞就像帶正電的粒子，這些粒子運動的軌道就是電洞軌道。因爲電洞與電子的電荷相反，在磁場中，它們的軌道方向也相反，因此電洞的哈爾常數(*Hall constant*)爲正，電子的哈爾常數爲負。例如圖中磁場自頁面向外，圖13—255(*a*)是電子軌道；圖13—255(*b*)是電洞軌道，兩者運動的方向都是保持陰影部分在其左邊，方向正好相反。

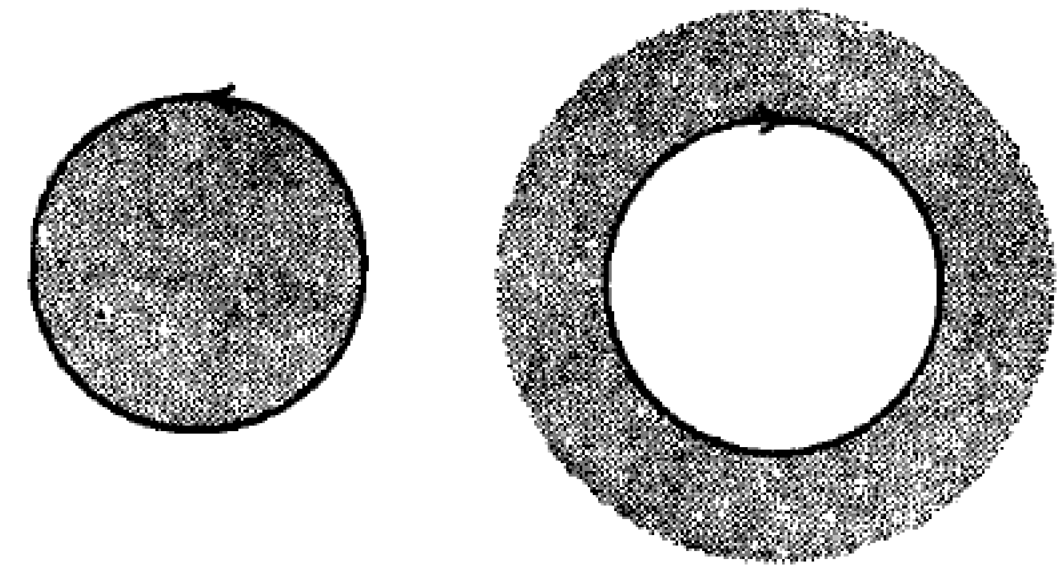

(a)　　(b)

圖13—255

【電流】(Electric current)

廣泛言之，電流係指電荷的流動。在孤立的金屬導體中，如一段銅線，除了圍繞著自己原子核旋轉的電荷外，還有些電荷不受原子核控制的自由電子在散亂運動，如同盛於容器中之氣體分子，這些電荷沿銅線

並無方向性的淨運動。若一假想平面通過銅線，電荷自右向左經過此面之率（*rate*）與自左向右經過平面之率相同；故淨率為零。沒有電荷移動現象，也就沒有電流流動。若銅線兩端與電池連接，負極多餘的電荷，就推動到銅線裏的自由電子，依次地把自由電子擠向缺乏電子的正極去，同時正極還有吸引電子的力量，使得自由電子在電線裏向著同一方向跑，這就形成了電流。但電荷移動的方向與電流的方向相反。

電流之方向定為正電荷流動之方向或是負電荷流動方向的反方向，亦即電場方向或電位遞減方向，如圖13—256(*a*)。若電流係由負電荷之運動所引起，電流方向與負電荷實際運動方向相反（圖13—256(*b*)）。

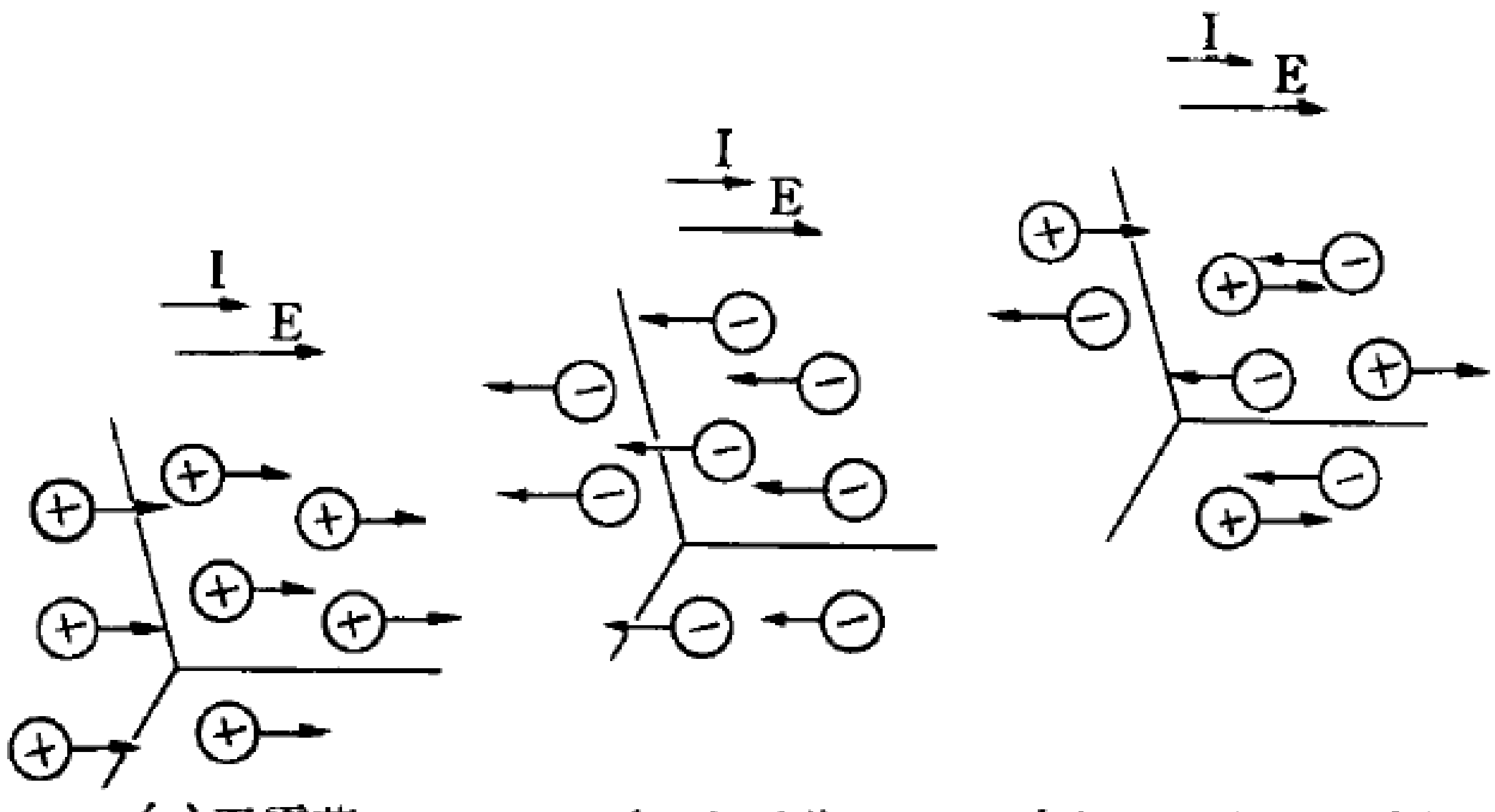


圖 13—256
正負離子運動構成電流。電流由電場產生。

若導線兩端連接電池，則在線內各點均產生電場。此電場E作用於電子，使諸電子在$-E$方向生一合成運動，即產生電流。單位時間內，流過某一截面的基本電荷數，稱為電流強度（I）。單位為基本電荷／秒，電流為電流強度的簡稱，實用上電流強度單位為安培，即每秒流過一庫侖電量。若僅有正電荷或負電荷流動的電路，在t時間內流過q個基本電荷，則

$$I=\frac{q}{t}$$

若正負電荷均移動的電路，在t時間內，流過q個正基本電荷與q'個

負基本電荷，則

$$I=\frac{q+q'}{t}$$

若電荷對時間的流動率並非一定，則電流隨時間而變，以微分極限表之，即

$$I=dq/dt$$

導體的各截面，縱使各點之截面積不同，其電流 I 均相同。

一導線中電子的流速 v，為單位時間 t 內通過導線長度 l 的電子流，即

$$v=\frac{l}{t}$$

若已知導線的長度及電子的流速，則此電子流所須通過導線的時間 t 為

$$t=\frac{l}{v}$$

已知電荷的荷電量為 1.6×10^{-19} 庫倫。今假定一長度為 l，截面積為 A 的導線，其單位體積（立方厘米）內的自由電子數為 n，則此導線內可流通的電量 Q 當為：

$$Q=1.6\times10^{-19}\,nlA$$

今把上列各式合併，得：

$$I=\frac{1.6\times10^{-19}\,nlA}{\frac{l}{v}}=1.6\times10^{-19}\,nAv$$

故知電子在良導體中的流速為：

$$v=\frac{I}{1.6\times10^{-19}\,nA}$$

雖然電子射線在真空中的速度可達光速的 4/10～9/10，但電子在固體或液體中的速率，可能超過光在同一介質中的速率，而引起突波（ *surge* ）效應。電子在導體中的任意速率，平均約為光速的 1/10

。

在正、負兩電荷間，如有適當的電位差存在，即可在各種狀況下形成電流。有電源及電路，其間電子方被驅動，電源維持一定的電壓，電源的作用，並不在輸出電荷或電量而爲維持電路內電荷的移動態勢。電路爲促成電子的移動與電能的傳播。導體上某二點間若有電位差，其間各分子卽同時相互逼迫拉引，以消弭此電位差。故前後各分子內同時移動的電子數均等。卽電流沿導體處同時發生，且強度相等。此亦爲電子移動的速率甚慢（每秒不及 1 厘米）而電流之貫通則接近光速之原因。就固體而言，如果是金屬的良導體，那只要其兩端或兩點之間有很微弱的電位差存在，卽可引起當量的電子流動。在不良導體或半導體中，只要有適應其結構性質（例如半導體的極性）的足夠電位差，卽能促使電子的移位而產生電子流或電洞流。在絕緣體中，如果所加電壓超過其絕緣力的限度，則會強迫電流的通過而造成電漏（*electric leakage*）現象，或迫使絕緣破裂（*electric breakdown*）。

在液體或氣體中，則因帶電的原子卽離子運動而產生電流。電離程度愈大，電流也愈大。在眞空中，只要兩電極間的電位差夠大，卽可因兩極異性電荷間的引力，把陰極的表面電子拉出，流向陽極而造成電子流。

以上所言的電流是指傳導電流和對流電流；傳導電流起於中性系統中電荷的運動；如在導體中電子流動或在半導體中電子和電洞的流動。對流電流起於非中性系統內電荷的運動；如在眞空中電子的流動。實際上尙有另一種形式的電流，卽位移電流，其係電通量改變的效應，並非實際的電荷流動。

對於正弦變化的交流電流，每秒流向左和向右的電荷數恆相等，故電流應爲零。但因電功率係與電流 I 的平方成正比，我們取一週期內 I^2 的平均值再取平方根值，稱爲方均根電流或有效電流 I_{eff}。其值爲該交

流電流高峰值 I_{peak} 的 $1/\sqrt{2}=0.707$ 倍，即

$$I_{eff}=0.707\ I_{peak}$$

在實用上，對於交流電的有效電流值亦逕稱電流。

【電流之方向】（Direction of electric current）

詳閱"電流（*Electric current*）"條。

【電流之化學效應】（Chemical effect of current）

蓄電池放電時，化學能變爲電能；充電時，電能變爲化學能。因電流而引起的化學作用，稱爲電流的化學效應。這種效應在工業上應用很廣，如電解、電鍍、電鑄等，此外還可用來測量電流。

化學上常利用電解來測定水、食鹽的組成。工業上製氯和氫氧化鈉及冶煉各種金屬亦用電解法。如精煉粗銅時，將所得的粗銅作正極，另用純銅作負極，在電解器中加入硫酸銅溶液來電解，於是正極的粗銅漸漸消失，同時負極的純銅漸漸增加，消失的重量與增加的重量相等。這樣製得的純銅，商業上稱爲電解銅。

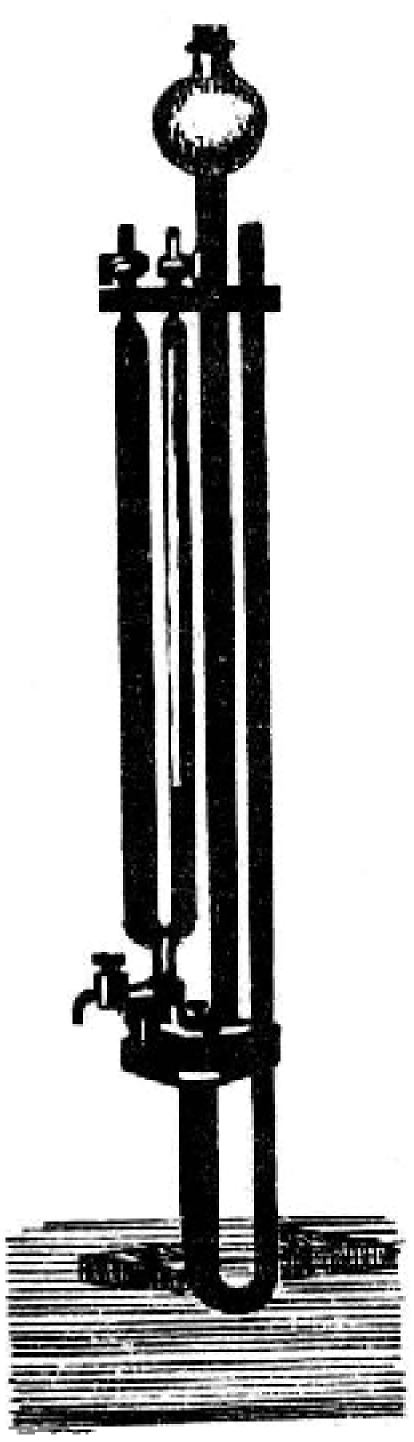


圖 13--257
荷夫曼儀

如圖 13—257 示一荷夫曼儀（*Hoffmann apparatus*），係由一個兩端有玻璃活塞的 U 形管所組成。在此 U 形管的當中，又熔合了另一玻管，其上端擴大而呈球形。在 U 形管的兩側管中，各有一白金片，其功用在於導電，故稱電極。儀器中則盛裝稀硫酸溶液。

當將電極接在蓄電池的兩極上，其與負極連接者稱爲陰極（*cathode*），與正極連接者稱爲陽極（*anode*），則在此二電極上均可見有氣泡發生。經過若干時間後，側管中遂各收集一定量的氣體，且在陰極的側管中，其氣體之量乃是陽極側管中者的兩倍（圖 13—258）。扭開陰極側管的活塞，以燃著的火柴置於其上，則見逸出的氣體自行燃燒，故知其爲氫氣。而從另一側管

逸出的氣體，則有一種性質，能使將熄的火柴重行燃燒，故知爲氧氣。由此可見，當電流通過稀硫酸溶液時，恆發生一種化學的分解作用，是謂電解。

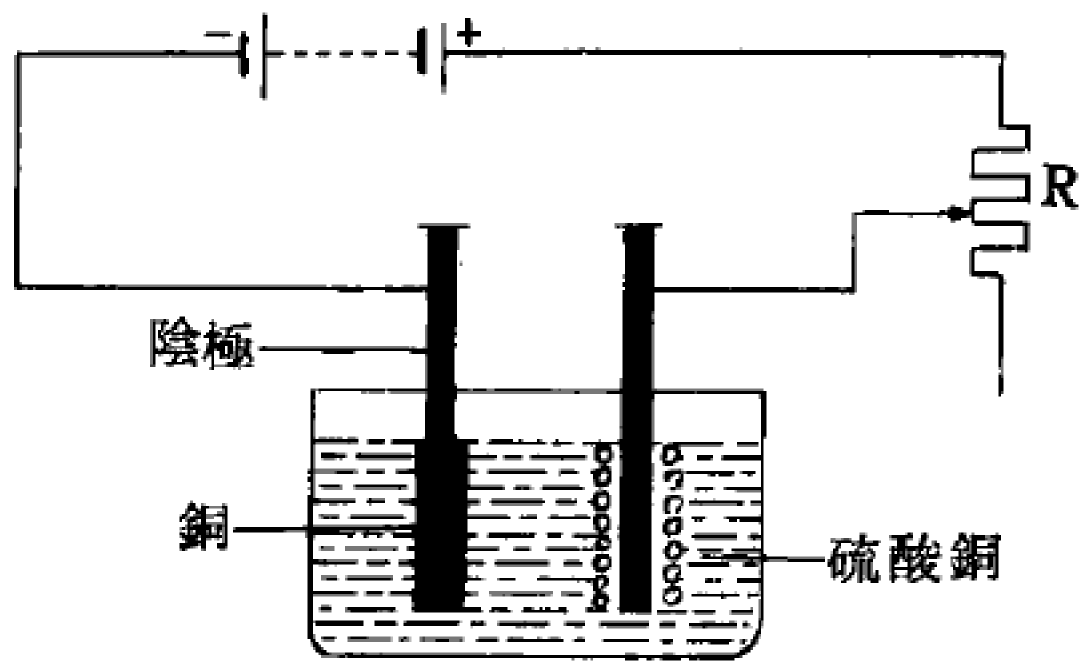


圖 13 — 258
硫酸銅溶液的電解。
銅在陰極上析出。

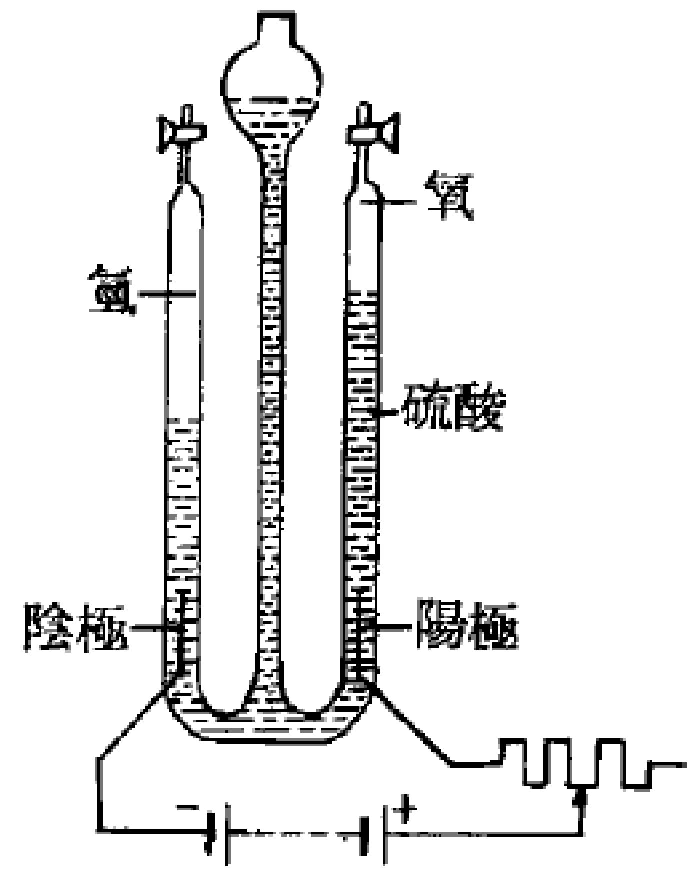


圖 13 — 259
稀硫酸的電解。氫在陰極、氧則在陽極析出。

試以其他的液體如硫酸銅（$CuSO_4$）溶液來重複上述的實驗。可用一個玻璃容器，而以碳棒作爲電極（圖 13— 259），接上蓄電池的兩極後，不久當可見陰極爲一薄層的銅所覆蓋，而在陽極上則仍有氣泡發生。故以電流通過硫酸銅溶液，可使銅在陰極析出。所有鹽類、酸和鹼的水溶液，均可用這種方法以電流使之分解，所以叫做電解質（*electrolyte*）。金屬或氫恆在陰極上析出。

【電流之相互作用】（Mutual action of current）

以通電流之二導線相接近，若平行置之，通以同方向之電流，則互相吸引，如圖13— 260(*a*)。通以異方向之電流，則互相排斥，如圖(*b*)。若二導線互成角度，則電流之方向，如圖(*c*)、(*d*)之箭頭所示時相吸引。如圖(*e*)、(*f*)之箭頭所示時，則相排斥。由於電流之磁作用，所以互相吸引、排斥。電流之方向相同時，生於兩導線間之磁場方向相反，即爲異名極，故相吸引。電流之方向相同時，生於二導線間之磁場方向相同，即爲同名極，故相排

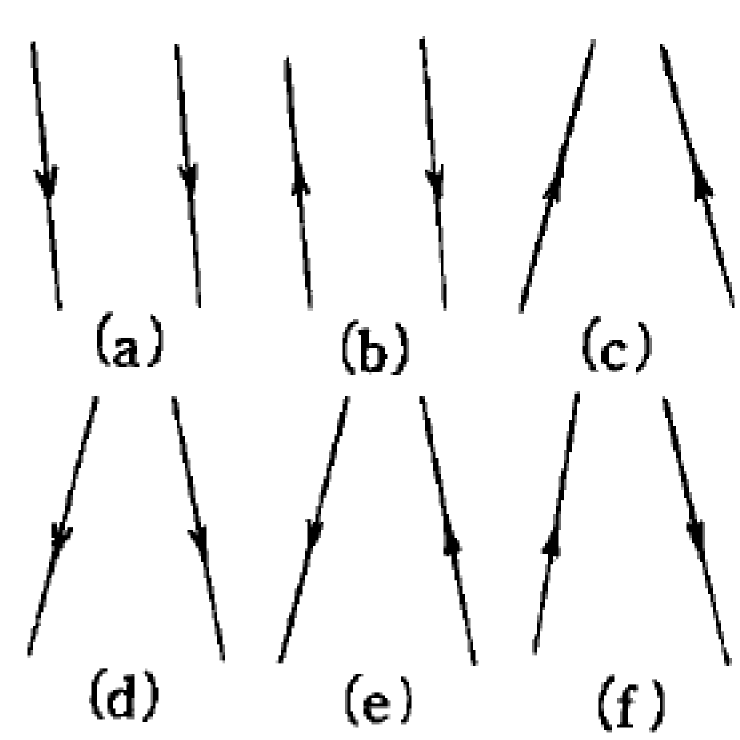


圖 13 — 260

斥。

欲求兩電流間之磁的交互作用。首先須考慮二平行的電流 I 及 I'（圖 13 — 261），此二電流的方向相同，二者的間隔距離爲 R。由 I 在 I' 的任一點上所建立的磁場 B 可由式 $\oint \vec{H}\cdot d\vec{l} = I$ 求得，其方向如圖所示。應用式 $\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$ 作用於 I' 的力 $\vec{F'}$ 爲

$$\vec{F'} = I'\int \vec{u'_T} \times \vec{B}\, dl'$$

因 $\vec{u'_T} \times \vec{B} = -\vec{u_R}B$，式中 $\vec{u_R}$ 係訂定爲由 I 至 I' 的單位向量。若將 $B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi R}$ 代入上式中得

$$\vec{F'} = I'\int \left(-\vec{u_R}\frac{\mu_0 I}{2\pi R}\right) dl' = -\vec{u_R}\left(\frac{\mu_0 I I'}{2\pi R}\right)\int dl'$$

上式之積分値爲 L'，故得作用於 I' 的力爲

$$\vec{F} = -\vec{u_R}\,\frac{\mu_0 I I'}{2\pi R}\,L'$$

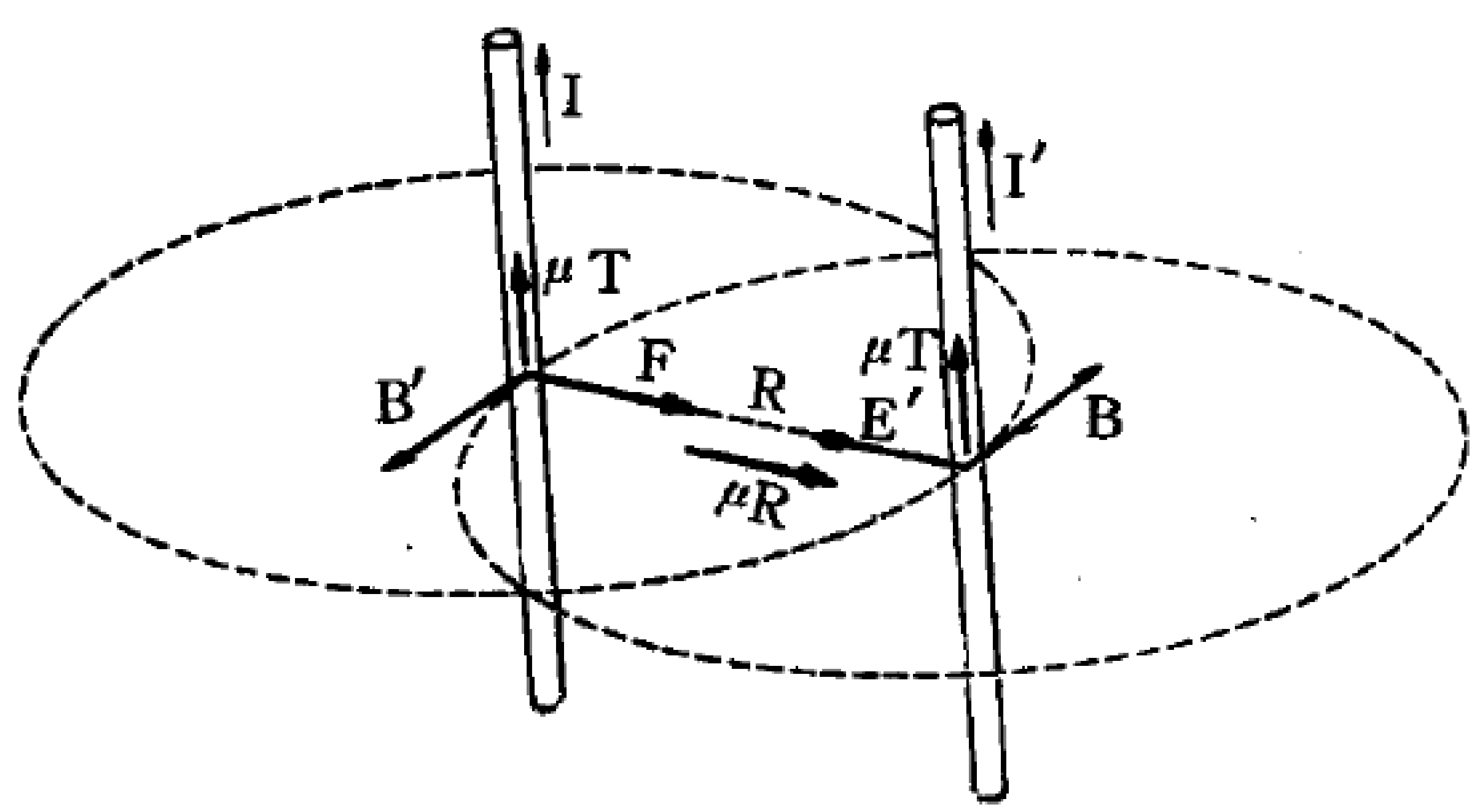


圖 13 — 261
二直線電流間磁的交互作用

這一結果說明電流 I 吸引電流 I'。一類似的計算，可求得 I' 作用於 I 的力，它的結果與上述結果相同，不過爲一正號，故它的方向與 $\vec{u_R}$ 的方向相同，並且仍爲一吸引力。因此二平行及方向相同的電流，由於它們之間磁交互作用的結果，能使二者相互吸引。假若二電流平行並反向，則它們將互相排斥。這些電流間的交互作用，在電動機以及其他工程的實際應用上非常重要。

【電流之強度】（Intensity of electric current）

詳閱“電流（*Electric current*）”條。

【電流之單位】(Unit of electric current)

是 *e.s.u./ sec.* 在實用單位制中，用安培表示即 *coulomb / sec* 。

【電流之種類】(The kind of current)

1. 就持續時間分

(1)暫時電流 (*transient current*)——導體 (線) 兩端具有不同電位，電子移動瞬時即因平衡而靜止的現象。

(2)連續電流 (*continuous current*)—— 使導線二端電位差維持不變，電子於其上可連續移動的現象。又名穩定電流 (*steady current*) 。

2. 就流動方向分

(1)直流 (*direct current* ，簡作 *D. C.*) ——方向不變的電流。

①脈流 (*pulsating current*) ——振動的直流。

②連續直流 (*continuous current*)——大小與方向皆一定的直流。

(2)交流 (*alternating current* ，簡作 *A. C.*) ——大小及方向作週期的變動。

①普通交流——用於電力方面的，由發電機產生的交流電。

②振盪電流 (*oscillating current*) —— 頻率極高，且依電路常數決定的交流。無線電發射機，天線饋電線上的駐波電流即此。

【電流之磁效應】(Magnetic effect of current)

通電導體使磁針受力發生偏轉的現象，叫做電流的磁效應。也就是電流周圍有磁場。此爲厄司特於 1819 年所發現。電磁鐵及許多電學測量儀器，就是利用這種效應製成的。

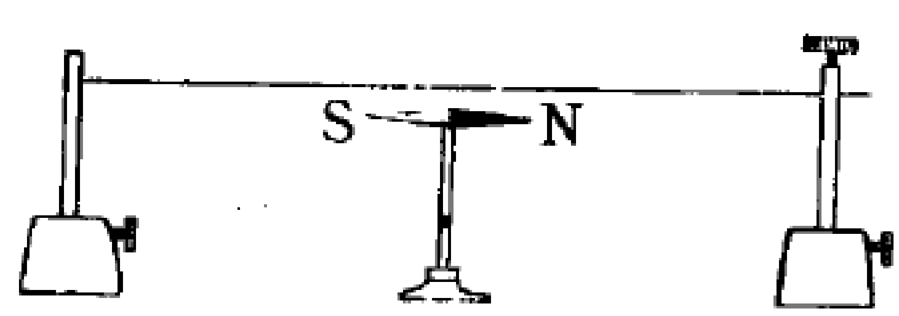
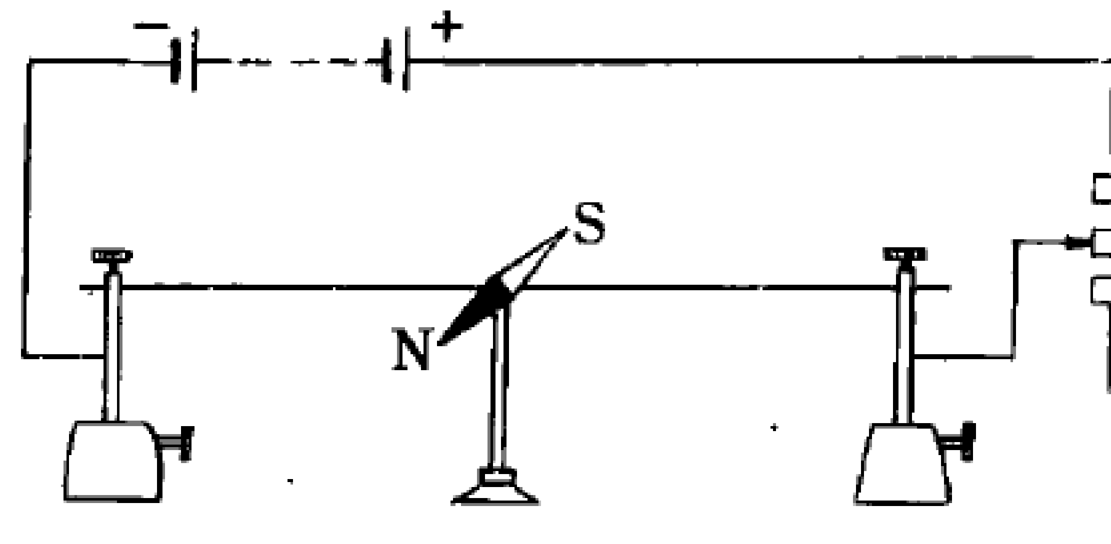


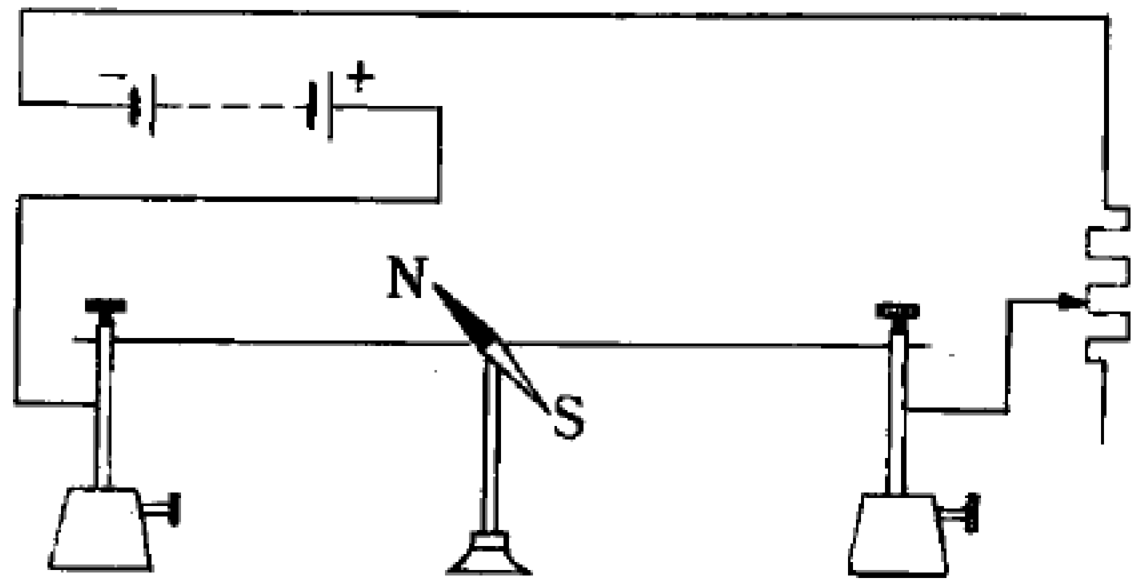
圖 13 — 262
導線與磁針的南北向平行的情形

以導線保持水平，架於磁針之上部，令線之方向與磁針之方向一致，如圖 13— 262 。此時若將接線柱與蓄電池的兩極連接起來，電流由北向南則磁針

的北極便將轉向東方。如圖 13—263(*a*)。如將二極調換，通以反對方向之電流，則磁針的北極便轉向西方，如圖 13—263(*b*)。由此實驗，可知通電流之導線周圍成一磁場，而能以磁力作用於磁針。



(a)磁針的北極因電流接通而轉向東方



(b)將極調換以後，磁針北極卽轉向西方

圖 13—263

欲瞭解電流磁場之狀況時，可以導線直貫於水平厚紙之中央，將紙面撒佈鐵粉，以強電流通於導線，輕輕敲紙，則可得如圖 13—264 所示的同心圓，愈靠近導線部分，鐵粉愈密。這些同心圓是代表導線周圍的磁場之方向，而鐵粉的疏密則代表磁力的強弱。電流在直線導線中流通時，所作磁場之指力線，在與導線成直角之平面內之圓形。若以水平磁針持近直立之導線近旁時，磁針必與導線成直角而靜止，磁針卽在同心圓的切線方向。若電流從上向下流，而磁針在導線之右側，則其北極向前，南極向後，電流從下向上流，而磁針在導線之右側，則其南極向前，而北極向後，如圖 13—265 所示，磁針恆取磁場指力線之切線方向而靜止，故知電流取螺旋前進之方向流時，其磁力線之方向，與廻轉螺旋之方向一致。

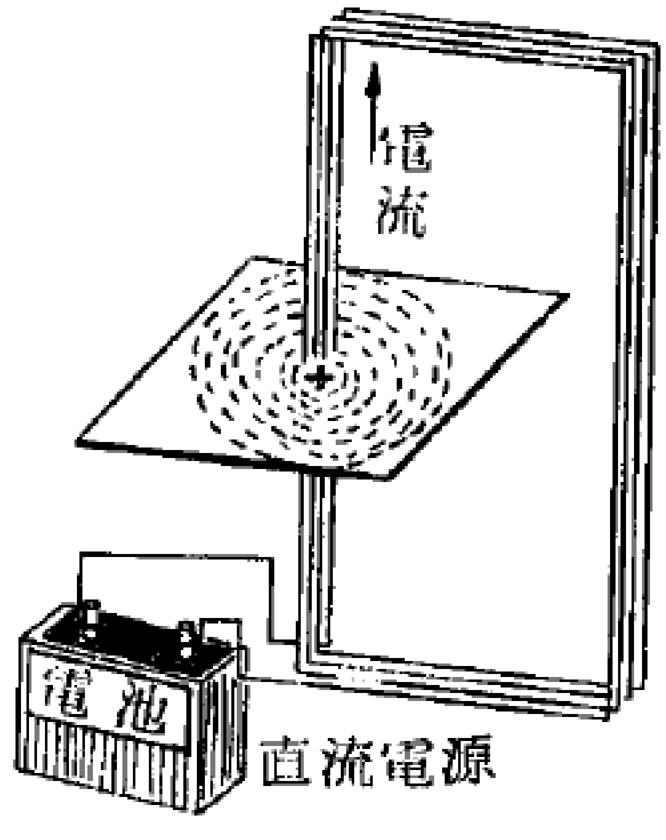


圖 13—264

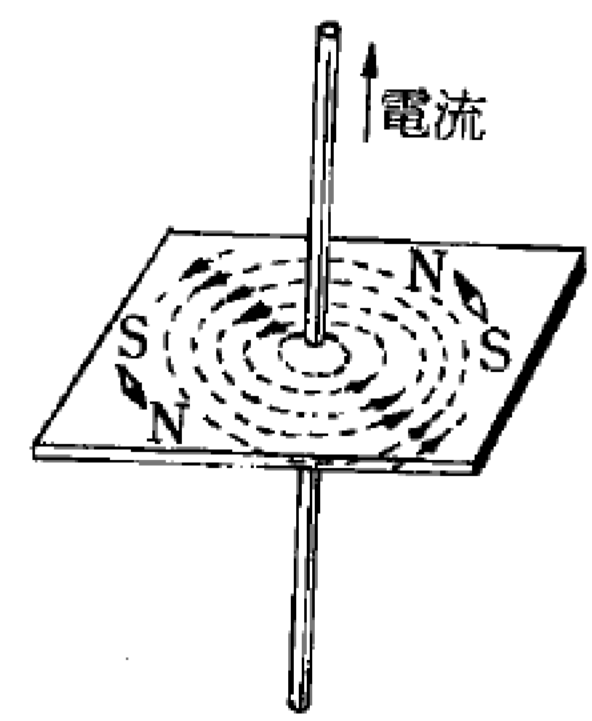


圖 13—265

在直形導線中電流所生磁性的大小與電流強弱成正比。在線圈中電流所生磁性的大小，又與圈數成正比。

欲知電流所生磁場的方向，可依照安培右手定則：用右手握導線，使拇指指電流方向，則其他四指指磁

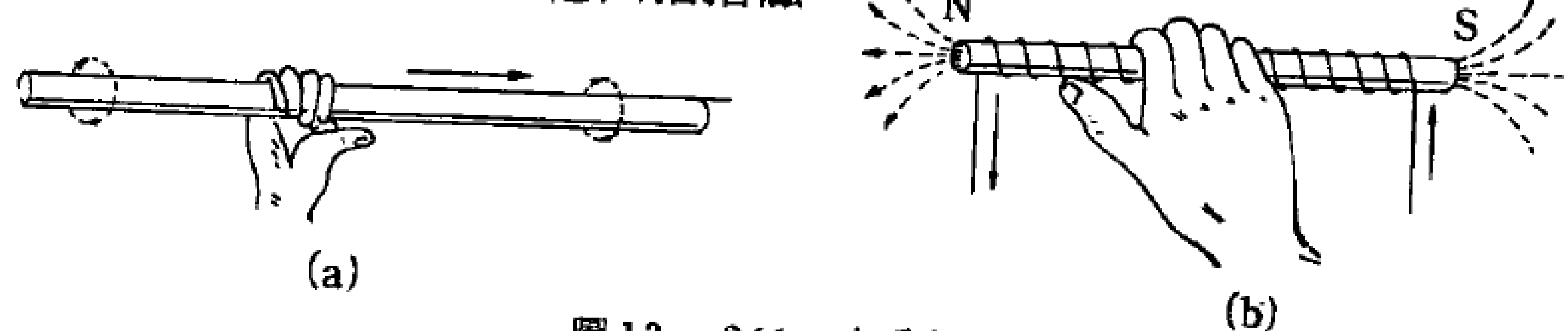


圖 13—266　右手定則

場方向（圖13—266(*a*)）。若導線是線圈形狀，則使四指指電流方向，而由拇指看磁場方向（圖 13—266(*b*)）。

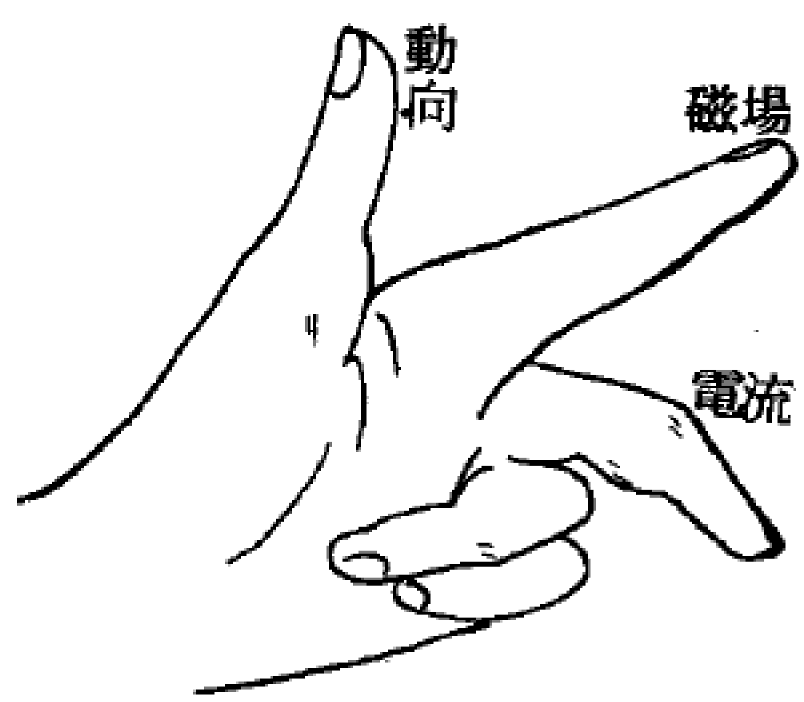


圖 13—267
佛萊銘左手定則

佛萊銘（*Fleming*）後來又發明了左手定則（*left hand rule*）：使左手拇指、食指與中指互成直角。以食指代表磁場方向，中指代表電流方向，則拇指所指之方向，即爲電流對磁場起作用的方向。如圖 13—267，此即電動機勵磁圈使磁軸心發生扭力而轉動的基礎，亦爲電磁式揚聲器所憑藉的原理。若以電子的流向爲電流的流向，則佛萊銘左手定則應改爲右手定則。

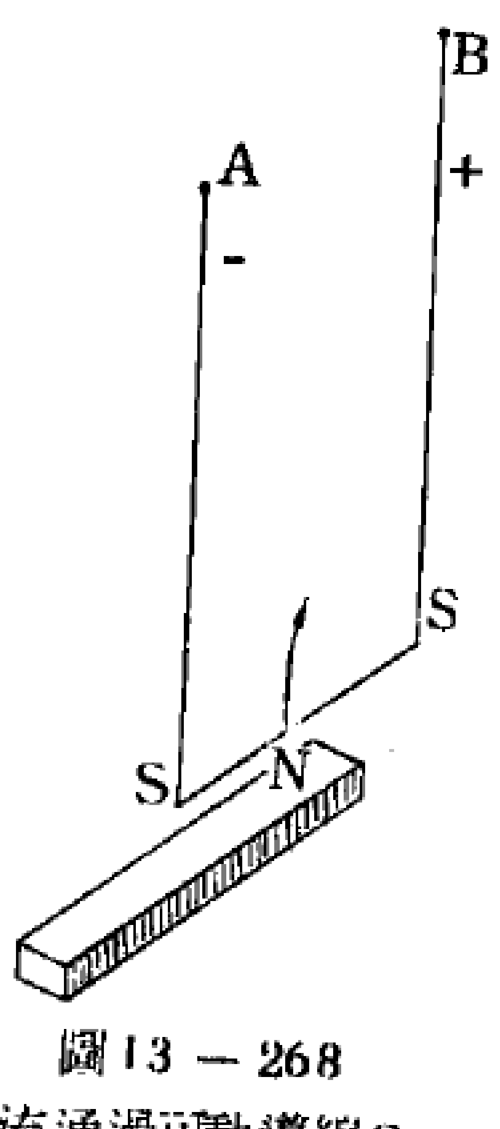


圖 13 — 268
電流通過可動導線S－S時，後者即擺向西方

由牛頓力學第三定律，可知二物體間的交互作用力恆相等而方向相反。因此導線和磁針發生交互作用以後，二者勢將互相離開。不過在圖 13—263(*a*) 和 (*b*)中，由於導線的位置已經固定，所以磁針只能自行轉開。反之，若將磁針的位置予以固定，則導線必將移開。

如圖 13—268，用兩條分別固定於*A*點和*B*點

而長度相等的金銀絲條，將銅線 $S-S$ 吊起，並將一條形磁鐵的北極置於銅線下方，使二者互相平行。然後使 A 點與蓄電池的負極，B 點與其正極連接則銅線必轉向西方。因根據右手定則，當銅線固定時，該磁鐵的北極轉出東方。

又若用一垂直的導線將一線圈吊於蹄形磁鐵的兩極之間，使其可以自由轉動，且線圈軸 A 與磁極的聯線（方向為 $N-S$ ）互成垂直（圖 13—269），則其偏轉的程度當更強。當電流通過線圈時，軸 A 即行偏轉而取 $N-S$ 之方向（圖 13—270）。

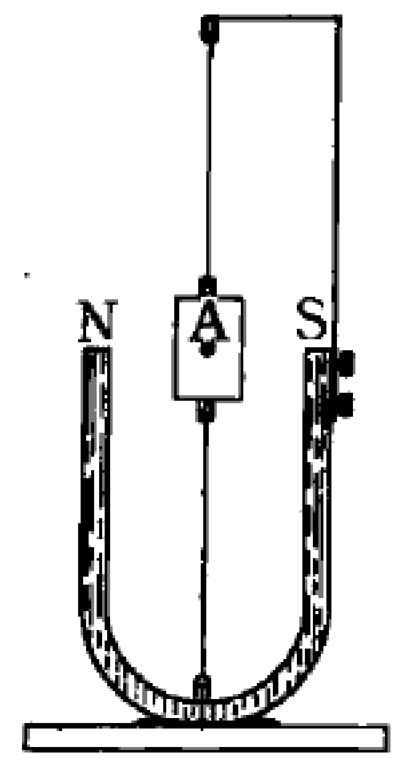


圖 13—269 固定的蹄形磁鐵，其兩極（N及S）間吊著一可以自由轉動的線圈，線圈軸為A。

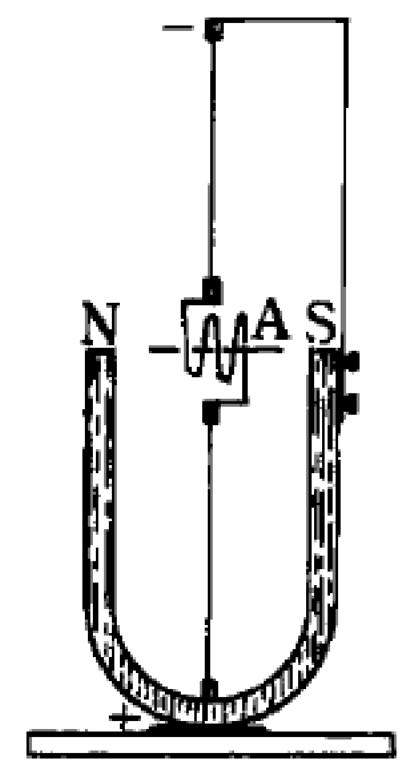


圖 13—270 當電流通過線圈時，後者即行轉動而促使其軸A採取N－S之方向。

【電流之磁場】（Magnetic field of current）

詳閱“電流的磁效應（*Magnetic effect of current*）”條。

【電流之熱效應】（Heating effect of current）

電子在電路中移動，即產生熱量，稱為電流的熱效應。當電流通過各種金屬導線、導電液體和導電氣體時，均有熱量發生。

導體內有電流通過時，其內之自由電子受電場作用而成加速運動，而與周圍之原子互相碰撞。碰撞阻礙了電子之流動，因而成為電阻。同時，因為碰撞，原子之振動加激而產生熱。假如通過之電流大小一定，則電阻較大，碰撞之次數較多，產生之熱亦多。

熱量 H 與電流 I、導體的電阻 R 及電流通過電阻的時間 t 之關係，經英國化學家焦耳（*James Prescott Joule*）實驗測定為

$$H = 0.24\, I^2Rt$$

熱量的單位為“卡”（*calorie*），1 卡為使攝氏十五度的純水升高一度所需的熱量。上式中電流的單位為安培，電阻的單位為歐姆，

時間的單位爲秒。根據上式，可知當 1 安培的電流通過 1 歐姆的電阻時，在 1 秒鐘內可產生 0.24 卡的熱量。發生單位熱量所需之功，稱爲熱功當量 J。電能轉變爲熱能，若無其他消耗，按能量不滅原理，得

$$HJ = I^2Rt = IVt$$

即 $$H = \frac{1}{J} I^2 Rt \quad 或 \quad J = \frac{I^2 Rt}{H} = \frac{IVt}{H}$$

計算所耗電能與所放出熱量之比，即求得熱功當量。由此得 1 卡＝4.148焦耳；1 焦耳＝ 0.24 卡。

電流之熱效應，使導體因電流之通過而發熱及伸長。由導體發熱所升高的溫度，可以測定所通電流的強度。如將電流方向變換，則導體發熱及伸長的情形依舊，故知導體之發熱與電流之方向無關。

電燈、輝光燈、電爐、電熨斗、電熱板等，皆利用電流之熱效應原理而製成。但這種效應有時也是有害的，如發電機中線圈發熱，在輸送電線中因生熱使能量損失等。

【電流反饋】(Current feedback)

又稱電流回授，反饋電路與放大器的輸出端串聯，反饋電壓與輸出電流成比例。

【電流代數】(Current algebra)

1962 年葛爾曼 (*Murray Gell-Mann*) 所創的理論，假設八正道中的八個對稱算符就是弱電流中的八個弱電荷，並認爲這些電荷的同時對易關係在對稱性違反下仍然成立。這理論當時未受人注意，直到1965年艾德勒和魏柏格 (*Wissberger*) 用以導出艾德勒、魏柏格總和定則後才大受重視。

【電流有功分量】(Effective component of current)

交流電流中能在電路內造成能量消耗的分量。交流電路內如果具有電抗，則電路中的電流便會對電路端點的電壓發生相位移。在這種情況

下，電路裏的電流便可分解爲兩個分量，即與電路端電壓相位相同的有功分量及與電壓相角相差 $\pm\pi/2$ 的無功分量（符號爲＋或－，視無功負荷的性質而定）。電路中消耗的功率與 $\cos\theta$ 成比例，此處 θ 爲電流與電壓之間的相移角度。對於有功分量，$\cos\theta=1$；對於無功分量，$\cos\theta=0$。因此，電路內所消耗的功率便只決定於電流有功分量。電路中，全部電流 I 是以有功分量 I_a 及無功分量 I_p 來表示的。總電流等於此兩電流的向量和：

$$I=\sqrt{I_a^2+I_p^2}$$

這個公式對於最大值及有效值都是正確的。由此可知，電流有功分量總是小於電路中的全部電流，不過如果無功分量越小，亦即電流與電壓之間的相位差越小，則有功分量便與全部電流更爲接近。

【電流有效值】（Effective value of current）

一安培直流電流相當於交流電有效值一安培。交流電的有效值剛爲交流電機轉到 45 度的瞬時值，亦即最大值的 70.7％。

【電流交流分量】（A.C. component of plate current）

大小和方向都成週期性變化的電流分量，或是由只是大小成週期性變化的電流中減去直流分量後所餘下的電流分量。在最簡單的情況下，電流的交流分量是一個正弦電流，其週期等於合成電流的變化週期。在比較複雜的情況下，電流的交流分量除了含有基本正弦電流外，還包含有諧波，即頻率爲基本電流頻率整倍數的正弦電流。舉例來說，如果有正弦電壓作用到電子管的柵極上，並且電子管是在特性曲線的直線段內工作，則屏極電流就是直流分量 I_0（等於屏極電流的平均值）與交流分量（即幅度爲 I_1， 頻率等於柵極電壓頻率的正弦電流）之和。在半波整流的情況下，電流（已整流的）的交流分量中除了含有頻率等於被整電流頻率的正弦電流外，還包含有頻率爲被整電流頻率整倍數的正弦波（諧波）。在全波整流的情況下，則電流的交流分量中包含有頻率爲

被整電流頻率兩倍的正弦電流及其諧波。

【電流放大率】(Current amplification)

放大器輸出電路之電流與輸入電流之比值。

【電流計】(Galvanometer)

電流計(圖 13—271)是藉流經線圈之電流產生的電磁力與周圍永久磁鐵之磁力互相作用,而推動指針,以指示或量度微量電流的儀器,因爲電流所生的磁場與電流強度成正比,所以可由測量磁場強度而測知電流的強度。依電流的大小,分爲安培計(量安培 *A*用)、毫安培計(量毫安培 *mA*用)等。主要構造爲載流線圈與磁鐵及磁針。依其轉動部分可分爲磁轉式與圈轉式兩種:

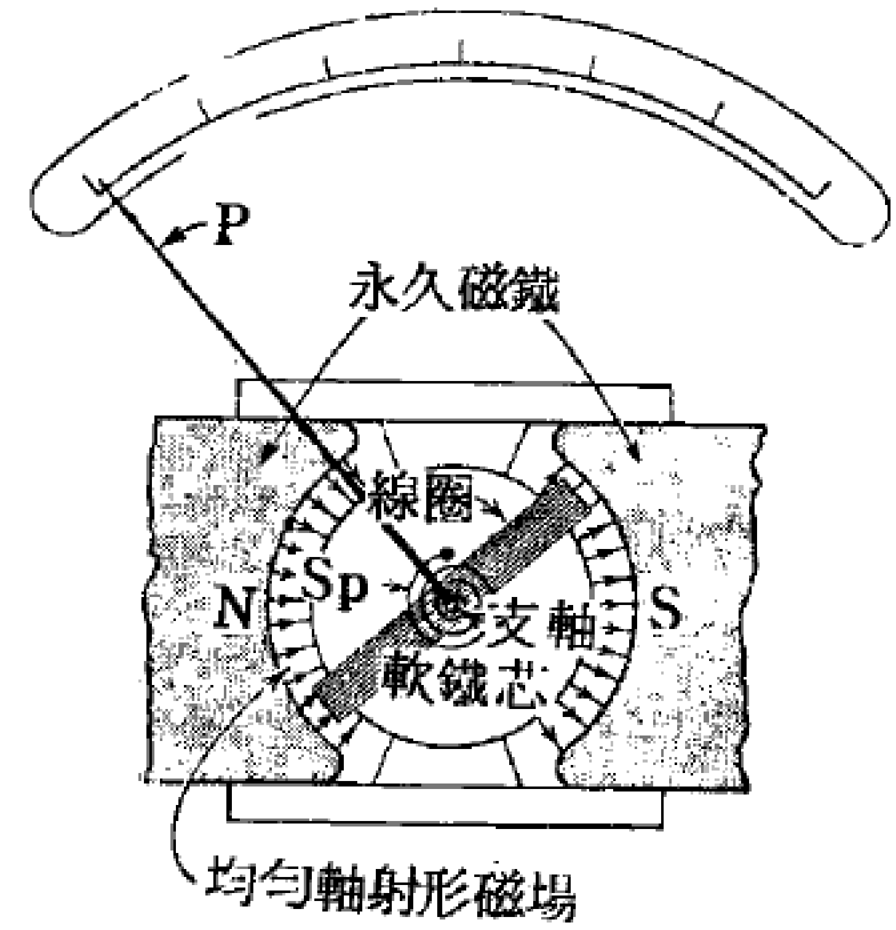


圖 13 — 271

1. 磁轉式(正切)電流計——其構造,在線圈中央支一小磁針卽成。圈面與地磁子午線相合,通以電流,磁針卽生偏轉,電流之強度可由磁針之轉角求得。

2. 圈轉式(達松發爾)電流計——是將線圈懸於一蹄形磁鐵之兩極間。線圈通電時,卽生轉動,由其轉動角度可知電流強度。

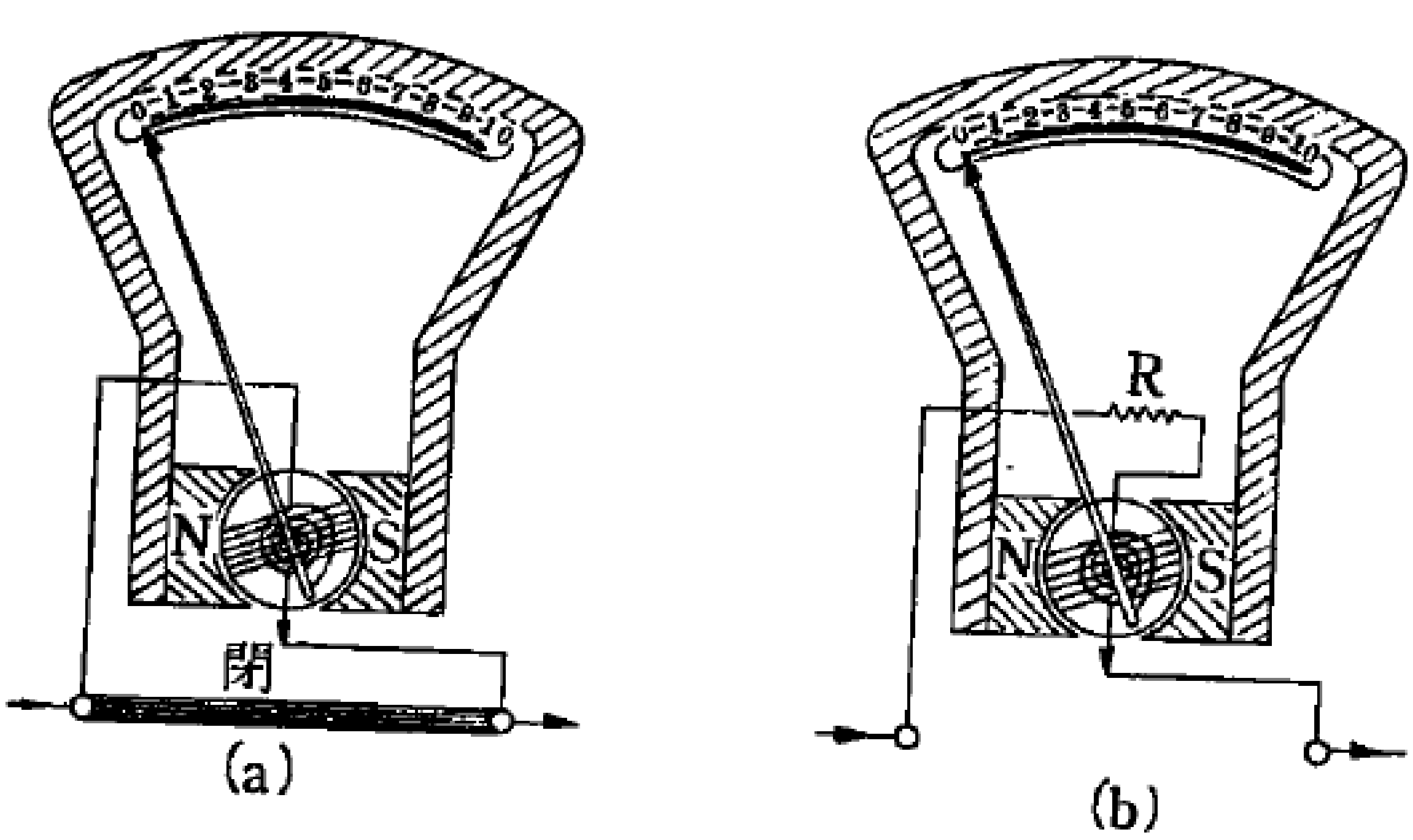


圖 13 — 272

圖 13—272(*a*) 所示爲支圈電流計,係在蹄形磁鐵的二極間,裝一圓筒形鐵芯,方線圈則支在鐵芯上,可繞鐵

芯軸自由旋轉，且常爲彈簧圈所節制；電流通過時，線圈受一力偶，轉至彈簧力制止之處，以表電流強度。普通使用之衞司呑式安培計(*Weston type ammeter*)，卽接有低阻分路用以測定較大直流的圈轉式電流計(如圖 13－272(*b*))。上述皆爲磁效應式電流計；此外尙有利用高電阻導線發熱時膨脹原理製成的熱效應式電流計及利用兩磁場間所生電動機作用的電動力式電流計等二種。

爲了增大電流計的靈敏度，其活動部分常常不是固定在軸上，而是吊在一根細金屬絲上。爲了提高讀數的準確性，在電流計內，常常是用鏡式讀數系統來代替指針，在此系統內的活動部分上安裝一個小鏡子，由鏡子反射出的光線便起著指針的作用（鏡式電流計）。所有這些措施使得電流計可以用來測量 $1\times10^{-9}\sim1\times10^{-10}$ 安培甚至更小的直流電流。

【電流計與電壓計的使用法】(Usage of galvanometer and voltameter)

由於電流計或電壓計有直流用與交流用者，所以，要使用這些儀器時，應認明是直流用或交流用，選用正確才行。

又各儀器都對可以通過的電流大小，或可以量的電壓大小有一定的限度，所以要先估計一下所要量的電流或電壓，選用不會超過使用範圍的儀器。

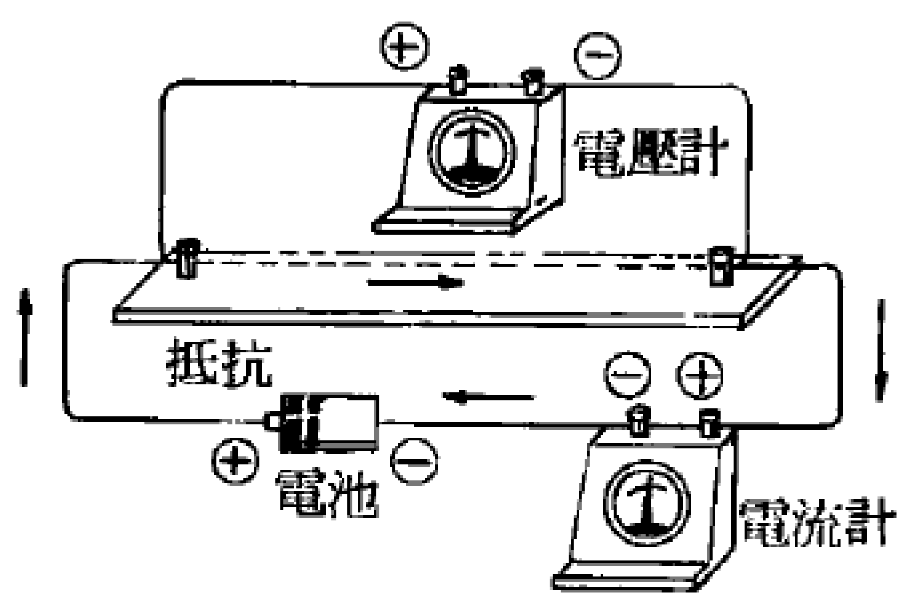


圖 13 — 273

電流計應如圖 13 — 273，與所要測量的電路串聯連接。電壓計應與所要測量的電路並聯連接。

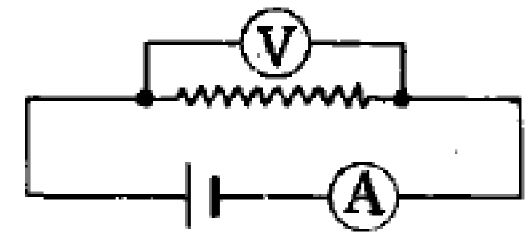


圖 13 — 274

電流計不可以直接接在電池的極。因爲這樣會有過份的電流通過電流計，把電流計的線圈燒斷。直流電流計或直

流電壓計，應把＋的端子（圖中爲⊕）接在靠近電池的陽極，－的端子（圖中爲⊖）接在靠近電池的陰極。

開始要使電流通過電路（圖 13—274）時，宜先碰觸一下，看看電流計的指針擺動情形，以確定電路有無接錯。

【電流秤】（Current balance）

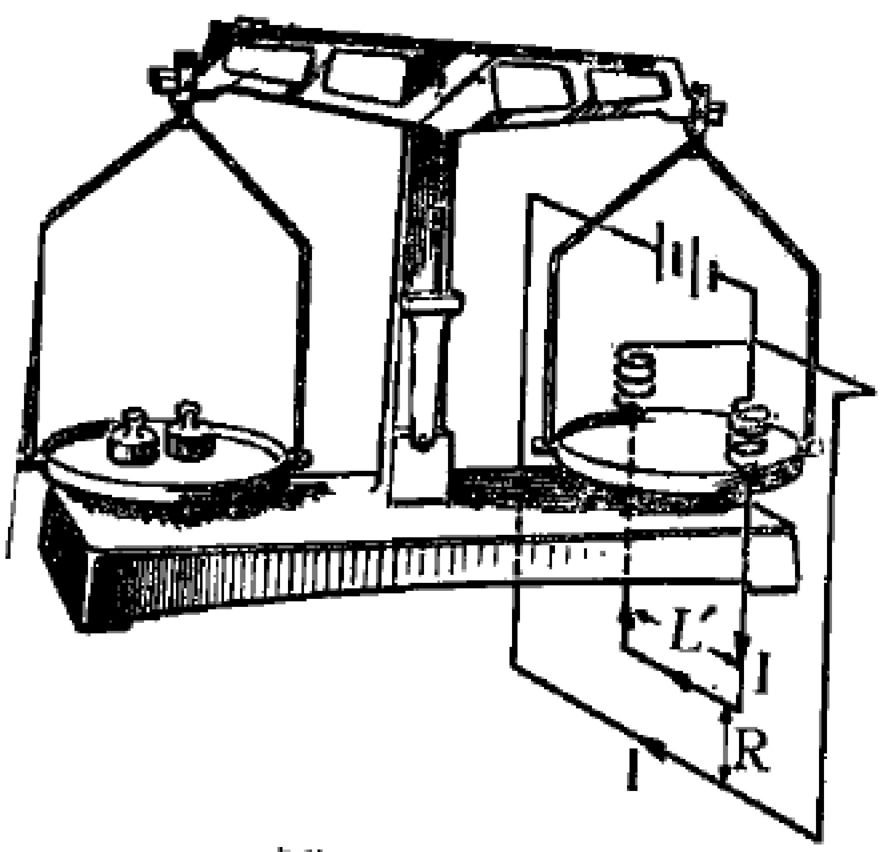


圖 13—275
以兩平行導體間的磁力量度電流的電流秤

量度兩平行導體間之力的設備如圖13—275所示。首先調整此秤，使在無電流時爲平衡狀態，當同樣大小的電流通過二導體時，則它們彼此相互作用的力爲

$$F = 2 \times 10^{-7} \frac{I^2 L'}{R}$$

因此在秤的左盤上需要增加重量，俾使此秤仍回到平衡狀態。由F，L'及R的已知值，卽可求得I的值。實際上常用兩個平行圓線圈以代替兩平行導體。於是兩線圈間力的表示式將有所不同。

因爲，常數K_e及K_m以輔助常數ϵ_0及μ_0表示時，我們有

$$K_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad 及 \quad K_m = \frac{\mu_0}{4\pi}$$

故得這兩個常數的比值爲 $$\frac{K_e}{K_m} = \frac{1}{\epsilon_0\mu_0} = c^2$$

式中$c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$，這一常數與眞空中的光速（或任何電磁信號的速度）相等。如以常數c表示，得

$$K_e = K_m c^2 = 10^{-7} c^2$$

【電流密度】（Current density）

電流i是特定導體的特性，爲一巨觀量，如同物體的質量、體積或桿的長度。相關之微觀量爲電流密度$\vec{j}$，是向量，卽導體單位截面積上

的電流強度，爲導體之內某點的特性，而非整個導體的特性。若電流均勻分佈於導體的截面積 A 上，則在截面上各點電流密度的大小爲

$$j = i / A$$

在任何點向量 $\vec{j}$ 朝向該點正電荷載體運動的方向，在該點之電子向 $-\vec{j}$ 方向運動。

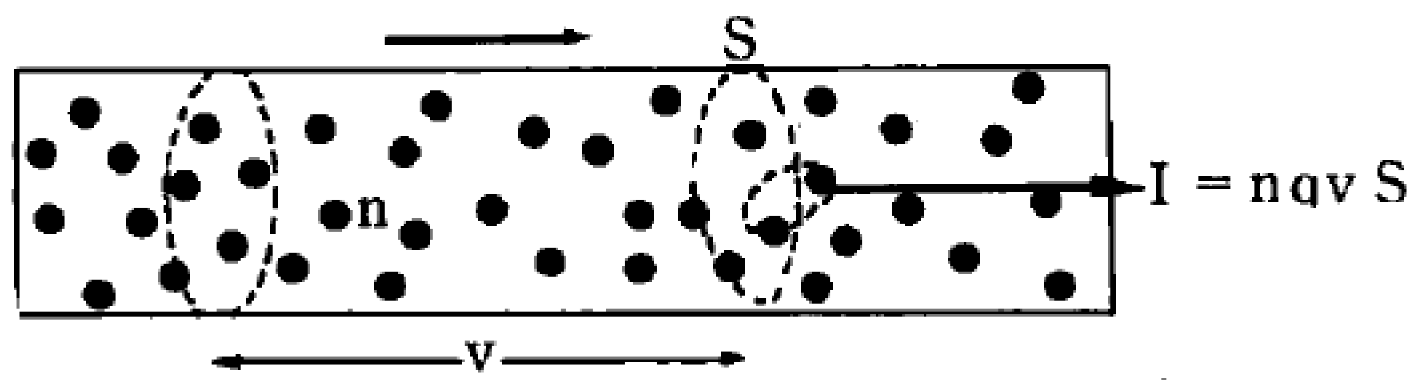


圖 13 — 276　導體中的電流

假設有一帶電荷爲 q 的運動粒子以速度 $\vec{v}$ 穿過一導體的截面。如果 n 爲單位體積內的粒子數，則在單位時間內穿過單位面積的總粒子數爲 $n\vec{v}$（見圖 13—276），電流密度就訂定爲單位時間內穿過單位面積的電荷，此電流密度爲一向量，以式表示爲

$$\vec{j} = nq\vec{v}$$

將電流密度引伸，此向量亦可表示運輸過程中任何量（如質量或動量）之單位面積的流速。

【電流強度】（Current intensity；Current strength）

電流強度（或稱電流）爲單位時間經由導體任一截面上之電荷。若於 t 時間內，電量爲 q 的 N 質點；經過導電介質一截面，則通過總電量爲

$$Q = Nq$$

電流強度爲

$$I = \frac{Q}{t}$$

實際上，上式所表示者爲 t 時間內之平均電流強度；瞬時電流強度應爲

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

電流係以庫倫/秒或 Cs^{-1} 爲單位表示之，此單位亦稱安培（*ampere*，簡

稱*A*）。一安培爲一電流強度，相當於一庫倫電荷，於一秒鐘內通過導電材料之一截面。

【電流換向器】（Current commutator）

利用兩條細金屬線，將一段由輕金屬製成的導線懸掛於一蹄形磁鐵的兩極之間（圖 13－277）；並將金屬細線的他端接在蓄電池的兩極上。接通電流後，該金屬線段便爲磁鐵兩股間的磁場所排斥或吸引，視電子流的方向與磁極的位置而定。在導線中蠕行的電子係按*UVW*定則偏轉（圖 13－278），而此一偏向側方的運動，則會由於摩擦的關係傳給導線。即在蹄形磁鐵兩股間的線圈，因有電流通過，故會受到磁力作用而轉動。試順序以*UVW*定則應用於線圈的左 *a*、右 *b* 方（圖 13－279），可見磁場作用於線圈兩側的轉矩，其方向是完全相同的；由於此種轉矩的作用，故線圈軸才會旋轉至 *N* - *S* 方向的極限位置。若將電流的供應作如下的調整，即當線圈軸與*N* - *S*方向重合的那一瞬間，立刻使電子流的方向逆轉，則作用於線圈上的轉矩，其轉動方向仍可保持不變。此種情形，可用所謂電流換向器達成之。此種儀器乃由兩個互相絕緣的半圓筒所組成，二者均被固定於線圈軸的方向上，且各與線圈的一端連結（圖 13－280）。由於慣性的關係，線圈恆

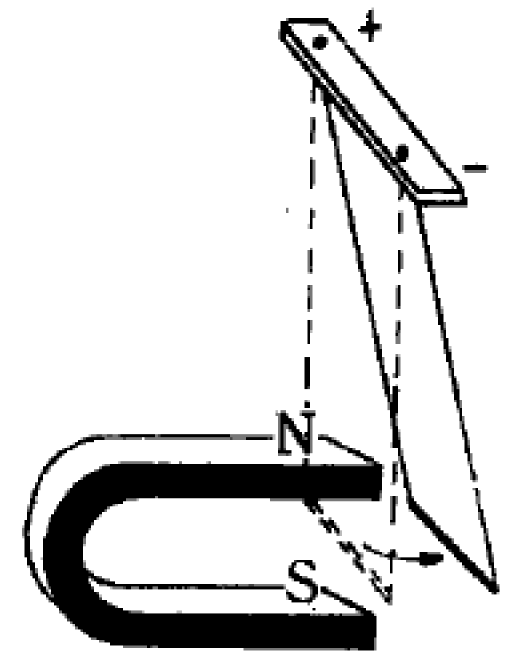


圖 13－277
一通電導線在磁場中運動的情形（UVW定則）

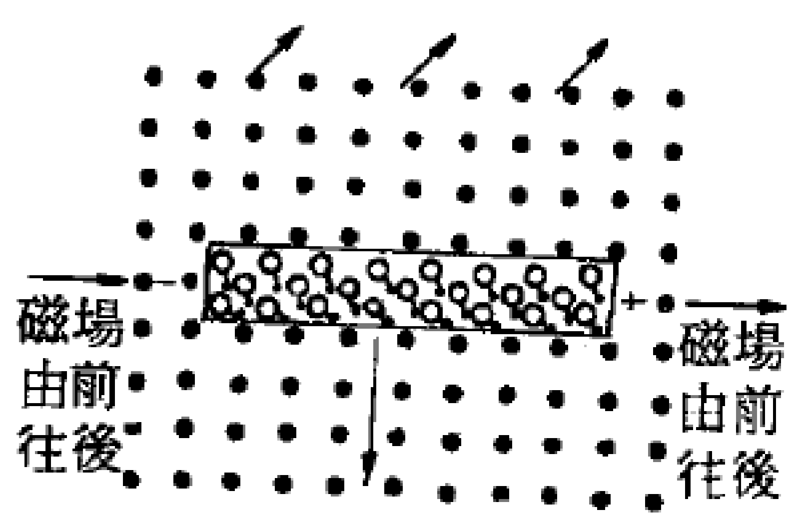


圖 13－278
在導線中流動的電子，按UVW定則在磁場作用下偏轉的情形。

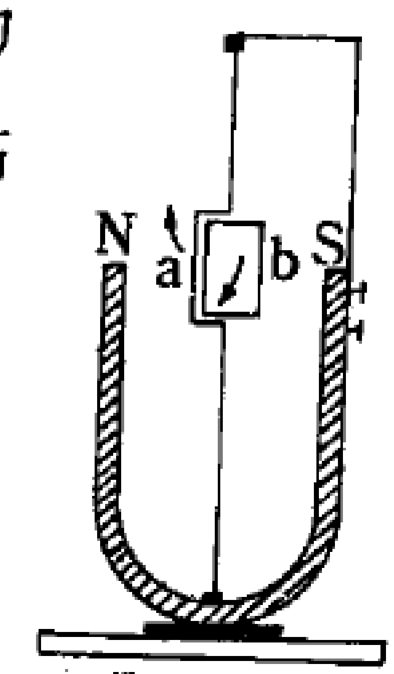


圖 13－279
磁場對線圈左a、右b側所施的轉動效應，其方向相同。

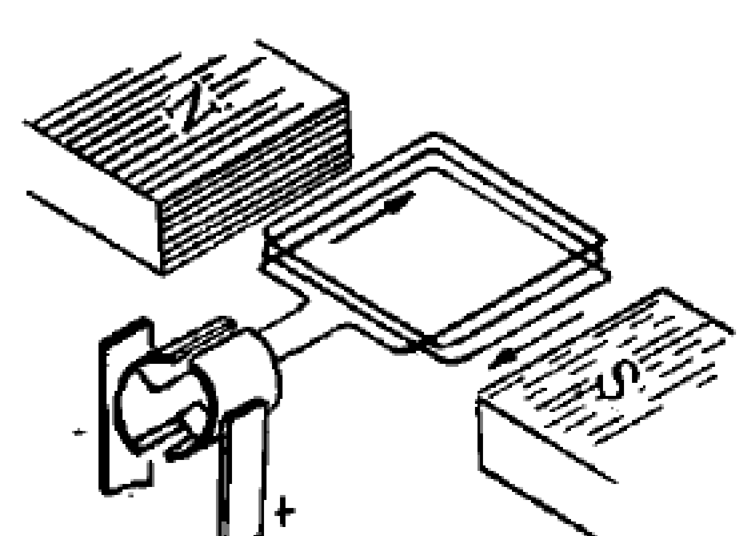


圖 13－280
電動機轉子，左邊部分的電子流，其方向係由圖前往圖後；而在右邊部分者，則由圖後流往圖前。

會轉過其極限位置；此時因爲電流的方向已經改變，故又可得到一種方向相同的推進力。整個裝置就是一個電動機；其線圈(裝有軟鐵芯者)稱爲轉子。

【電流截止】(Current cut-off)

這是正弦電流波形的一種失眞，卽電流在一週期的某部分時間內完全停止流通。例如，向電子管柵極加以正弦電壓時，若在週期的某部分時間內，電子管是封閉的，則電子管的屏極電流就會發生截止的現象。

電流截止的大小(這個數值在電子管振盪器和整流器的計算中起著甚爲重要的作用)通常由截止角來表示。截止角θ是用度數表示的電流脈衝持續時間的一半，而整個週期的持續時間則取定爲等於360°。

【電閃】(Lightning)

空中浮雲，帶有大量之電。若帶陽電的雲和陰電雲接近，其電壓恰能突破空氣，發生火花放電。此種放電，就叫做電閃。

【電能】(Electric energy)

電能爲電流在一定時間內所作之功。發電機所發的電卽具有電能，可以使電動機轉動而作功，也能使電燈發光或電熱器發熱。電功率爲電流1秒鐘內所作的功。於 t 秒間電流所作的功

$$電能=電功率\times t$$

1瓦特之電功率繼續使用1個小時之電能爲1瓦特小時，但此單位太小，平常均使用仟瓦特小時作電能單位。電在通路中的一部分或全部所成之功，卽等於電路中所消耗一部分或全部之能。

若電量 Q 由導線某點流至另一點時，此兩點間之電位差爲 V，則所作之功

$$\begin{aligned} W(焦耳) &= Q(庫侖)\times V(伏特) \\ &= I(安培)\times t(秒)\times V(伏特) \end{aligned}$$

$= I^2$（安培）$^2 \times R$（歐姆）$\times t$（秒）

【電容】（Electric capacity）

電容的基本意義是一對導體，其中之一表面上的電荷絕對值，與兩者之間電位差的比值。其關係式為 $C = \frac{Q}{V}$ 或電容量 $= \frac{\text{電量}}{\text{電壓}}$，因此電容的單位是電荷除以電位，在 *e.s.u.* 靜電單位制中，其單位是厘米；在實用單位制中，電容單位是法拉。1法拉（*farad*，簡寫為*F.*）的電容是1庫倫的電荷產生1伏特電位差時的電容。即 1 *farad* = 1 *coulomb* / 1 *volt* $= 9 \times 10^{11}$ *cm*。實際上所用的電容單位為微法拉（*microfarad*）及1微微法拉（*micromicrofarad*）。

單獨一個導體的電容，可依一對導體的電容定義求之；將該導體視作其中之一；另一導體則取在無限遠處。

對於兩個以上導體的系統，則可以電容係數（*coefficients of capacitance*）描述各導體的電荷與電壓的相互關係。

兩個導體間的電容隨導體尺寸及彼此之間的距離而變化。導體尺寸越大，彼此距離越小，則其電容越大。導體間的電容同時還與其間所塡介質的性質有關。該介質的誘電常數越大，則電容就越大。若將具有某一電容的兩個導體連接到直流電勢的電源上（例如連在電池上），則導體便充電到電位差與電源電勢相等。如上所述，此時電容越大，導體上所聚積的電荷就越大。若此二導體是與交流電勢的電源相連接，則電位差亦將與交流電勢作同樣的變化，導體上的電荷亦將相應地發生變化，而且變化的還不只是其大小，其符號亦將發生變化。即是說，電荷將忽而流向導體，忽而又從導體流出去。這就說明，電路內時時刻刻都將有交變電流在流通著。如果用的是直流電勢，則只有當它與導體接通的瞬間，導體電位差尚未等於電勢時，才有電荷流入於導體，此後，電路內的電流便停止了。換句話說，經過電容可以通過交流電流，但不能通過

直流電流。電容越大及頻率越高，則流經電容的交流電流便越大。因而電容可使交流電流通過，且電容越大與電流頻率越高時，對交流電流所呈現的阻抗越小。

【電容反饋】(Capacitive feedback)

在屏極電路內，插入射電週率阻流圈（ *R.F.C.* ），以阻滯檢波後輸出之射電週率電流，使其通過變量儲電器，而反饋於輸入電路，此種反饋方法，稱爲電容反饋。

利用電容器將前後級電路或同級之輸出、輸入電路作直接耦合，亦可達成反饋之目的。電子管振盪器常直接利用電子管之極際電容以達成反饋目的。

【電容抗】(Capacitive reactance)

電容器在直流電路中，除引線、接頭、導片、介質等的電阻，有熱能消耗及漏電損失以外；在交流電路中則一如電感器的感抗X_L作用，電容器對交流電之流通亦有阻抗（ *impedance* ）的作用。換言之，電容器充電過程中所生的反電壓，對交流電能具有電容抗的作用。電容抗X_C與電感抗X_L不同之處，爲電容抗隨交流電頻率的增高而減低。

交流電每一週中有四次變動，每一次變動需要的時間爲 $t = 1/4f$ 秒，交流電的平均值爲最大值的 $2/\pi$ 倍。電容器的電容量爲 $Q = CE$ 。當一交流最大變化電壓E_m 加於一電容器時，其能容許通過之平均電流爲

$$I_{ave} = C\frac{E_m}{\frac{1}{4f}} = 4fCE_m$$

因 $$I_{ave} = \frac{2}{\pi} I_m$$

故 $$\frac{2}{\pi} I_m = 4fCE_m \quad 即 \quad I_m = 2\pi f CE_m$$

今以$X_C = E_m / I_m$，則

$$X_C = \frac{E_m}{2\pi fCE_m} = \frac{1}{2\pi fC}$$

式中X_C的單位爲歐姆，f的單位爲週/秒或赫（*Hz*），C的單位爲法拉。

根據上式，電容抗X_C因頻率f的增高而減低，即通過一定值電容量的交流電能，可因頻率愈高而愈易於通過。因此可得一結論：卽電容器對頻率爲零之直流電，除稍有漏電損失外，其電容抗爲無限大，故有阻隔（*blocking*）直流電通過的作用。但對交流電而言，則僅隨頻率之高低只予以相應的限制。其限制的能力，視其電路中純電阻R及阻抗X_C的大小，亦卽其電路總阻Z而定。其總阻式爲：

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

電容器可用作分離直流與交流的閥（*valve*）。例如把混合著直流和交流成分的脈動電流中的直流與交流分開來，完成濾波（*filtering*）的工作。在電子管電路中，亦可用隔直流電容器（*blocking condenser*）使直流與射頻或聲頻電流分道而行，或阻隔彼等之混雜。

一電容器的電容抗X_C與其有效直流內阻R之比，卽表示該電容器的品質因數（*quality factor*），用Q表示

$$Q = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{2\pi fCR}$$

【電容率】(Permittivity ; Specific inductive capacity)

測定一電容器用某媒介質爲電介質與其僅藉空氣爲電介質時之電容比值，而稱此比值爲電容率或介電常數（*dielectric constant*）。

【電容率常數】（Permittivity constant）

一根帶有電流的無限長導線所產生的磁場可用$\oint \vec{H} \cdot \vec{dl} = I$表示。因此，如有二根互相平行而電流方向又相同的導線，便可應用式$d\vec{F} =$

$\frac{1}{c}\,d\vec{l}\times\vec{B}$ 求出它們間互相吸引的力量。圖13—281中二根導線的電流方向相同，它們間的距離爲R。I 在 I' 導線上任何一點所產生的磁場爲 $2I/cR$，其方向如圖 13—281 所示。因爲長度爲L' 的 I' 導線線段所受到的磁力可由積分式 $d\vec{F}=\frac{1}{c}\,d\vec{l}\times\vec{B}$ 而求得，即

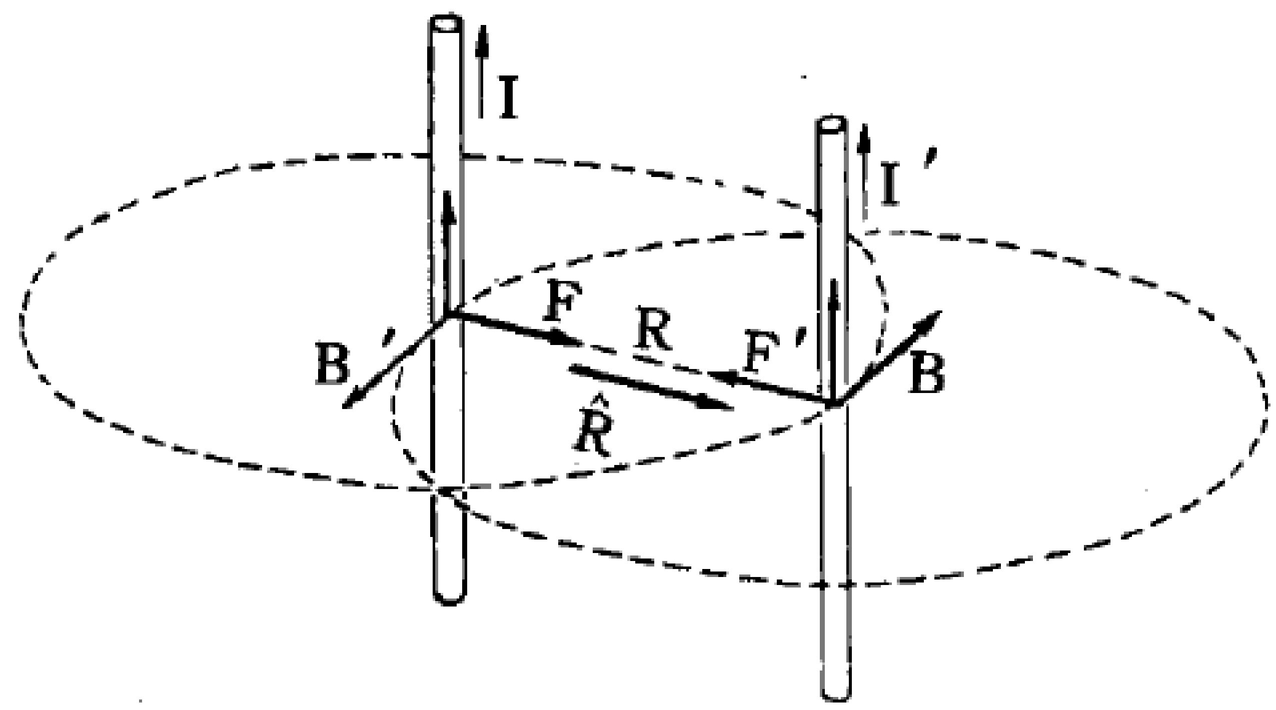


圖 13—281
二根平行導線間的磁交互作用

$$\vec{F}'=\frac{1}{c}\int I'\,d\vec{l}'\times\vec{B}$$

因爲 $d\vec{l}'\times\vec{B}=-\vec{\hat{R}}B\,dl'$，$\vec{\hat{R}}$ 爲自 I 到 I' 導線的單位向量，故

$$\vec{F}'=\frac{I'}{c}\int\left(-\vec{\hat{R}}\,\frac{2I}{cR}\right)dl'=-\vec{\hat{R}}\,\frac{2II'}{c^2R}\,L' \qquad (1)$$

這一結果知道 I 導線吸引 I' 導線。由相同的計算可以求出 I 施於 I 的力量，這時 I 所受的力是沿 $\vec{\hat{R}}$ 的方向。因此，兩根平行導線的電流方向相同時相互吸引，反之則互相排斥。在（1）式裏所有物理量的單位都是採用 $C.G.S.$ 靜電單位制。當二個電荷靜止時，它們間的作用力可用庫倫定律來表示，即

$$F_e=k_e\,\frac{qq'}{r^2} \qquad (2)$$

在 $C.G.S.$ 靜電單位制裏將這一式的比例常數 k_e 選爲 1，而定義電荷的靜電單位。現在由安培定律（或實驗）知二根平行導線間的作用力是與其電流的乘積成正比，而與它們間的垂直距離成反比，即（1）式間的關係，或者

$$F'_m=k_m\,\frac{2II'}{R}\,L' \qquad (3)$$

因爲上式表示運動中的電荷的另一種新的交互作用，並且電流又是電荷除以時間，故一旦根據（2）式定義了電荷的單位以後，就不能將上式的比例常數 k_m 任意規定了。用C.G.S.靜電單位制時，由實驗的結果 k_m 剛好是光速平方的倒數。但是，在M.K.S.實用單位制裏，並不根據（2）式定義電荷單位，而是根據上式先定義電流的單位，然後電荷等於電流乘時間的關係定義電荷的單位。在M.K.S.實用單位制裏，將上式的比例常數規定爲 10^{-7}，這時表示電流的大小的單位被稱爲安培（*ampere*），因此，如果 $I=I'$，一安培的電流可使兩根平行而相距一米的導線每一米長受到 2×10^{-7} 牛頓的作用力，如圖13—282。一旦安培被定義後，一庫倫（*coulomb*）的電荷便等於一安培的電流在一秒鐘內通過一根導線的任何一截面的總電荷量。採用M.K.S.實用單位制時，（2）式的比例常數當然並不爲1，由實驗的結果發現其值爲 $10^{-7}c^2$，c 爲光速，故 $k_e=10^{-7}c^2\simeq9\times10^9$ 牛頓·米²/庫倫²。習慣上我們通常將 k_e 寫成 $1/4\pi\varepsilon_0$，並稱 ε_0 爲眞空中的電容率常數。因此，採用M.K.S.實用單位制時庫倫定律乃被寫成

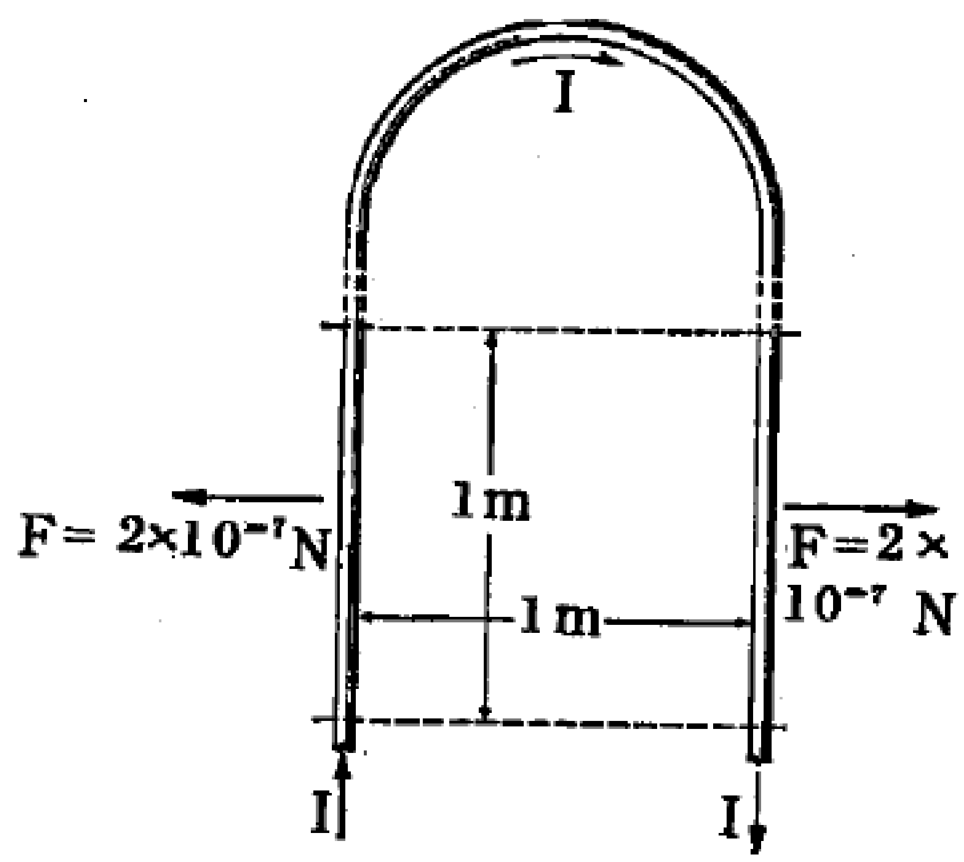


圖13—282
定義電流的安培單位的簡單裝置

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq'}{r^2}$$

【電容性電流】（Capacitive current）

在與電容相聯的電路中，由於該電容在充電與放電時的電荷運動所形成的電流。該電流的相位領前於電壓。

【電容時間常數】（Capacitive time constant）

詳閱“電阻電容時間常數（*Resistance-capacitance time constant*）”條。

【電容量】（Electric capacity）

導電體所能帶的電量，稱爲電容量。在一電容器的兩端，加上一伏特電壓，若能有每秒1庫倫（卽1安培）電流的充電量時，其電容量卽爲1法拉。

法拉的單位太大，地球的電容量還不足1法拉。故實用上常以“微法拉”（*microfarad*，μf），或微微法拉（$\mu\mu f$）爲計量標準。1微法拉爲1法拉的百萬分之一。故 $1\,\mu f = 10^{-6} f$，$1\,\mu\mu f = 10^{-12} f$。$\mu\mu f$ 又稱 pf（*picofarad*）。

電容器的電容量 C，與其充電電壓 E 及充電電量 Q 之關係爲：

$$C = \frac{Q}{E} \quad \text{或} \quad Q = CE$$

式中 Q 之單位爲庫倫，C 之單位爲法拉，E 之單位爲伏特。由此式可知：電容器的容量爲一常數。卽電壓和所充電量的比率永遠不變，電壓增減的倍數，等於充電電量增減的倍數，兩者相除，電容量仍爲定值。

電容量的大小，視其導片的有效面積 A，介質的厚度 T 及介質常數（k）而定。

若導片面積以平方公分計，介質厚度 T 卽導片之間的距離 d 以公分計，則計算電容量的實用公式爲

$$C = \frac{0.0884\,kA}{T\ (\text{或}\ d)}$$

若導片面積以平方吋計，介質厚度以吋計，則

$$C = \frac{0.02244\,kA}{T\ (\text{或}\ d)}$$

上列二式之電容量 C，其單位均爲微微法拉（$\mu\mu f$ 或 pf）。

電容器如連續工作於射頻電路中，將較間隙工作時易於損壞。因在射頻電路中，導片與介質將因渦流（ *eddy current* ）及射頻電流之趨膚效應（ *skin effect* ），而使其有效電阻增加，於是其溫度亦隨而增加，以致減低其耐壓。

【電容量之單位】（ Unit of capacity ）

電容量之實用單位為法拉（ *farad* ），符號為 f 。但在無線電路中，嫌其太大，故又分為微法拉（ *microfarad* ），及微微法拉（ *micro microfarad* ）二種。微法拉為法拉之百萬分之一，簡記為 μf。微微法拉為法拉之兆分之一，簡記為 $\mu\mu f$ 。茲將算式表示如下：

$$1\ farad\ (f) = 1{,}000{,}000\ microfarad\ (\mu f)$$

$$1\ microfarad\ (\mu f) = \frac{1\ farad\ (f)}{1{,}000{,}000}$$

又 $$1\ farad\ (f) = 1{,}000{,}000{,}000{,}000\ micromicrofarad\ (\mu\mu f)$$

$$1\ micromicrofarad\ (\mu\mu f) = \frac{1\ farad\ (f)}{1{,}000{,}000{,}000{,}000}$$

$$1\ microfarad\ (\mu f) = 1{,}000{,}000\ micromicrofarad\ (\mu\mu f)$$

$$1\ micromicrofarad\ (\mu\mu f) = \frac{1\ microfarad\ (\mu f)}{1{,}000{,}000}$$

【電容電路】（ Capacitance circuit ）

如圖 13—283 所示，當一電路僅由一電容器所組成時，式 $V = \frac{q}{C}$ 變為

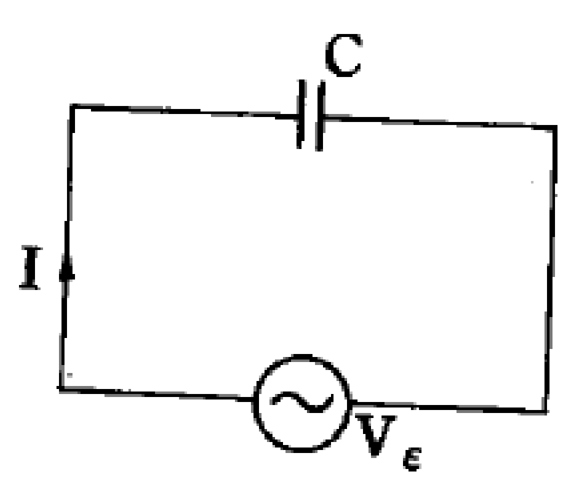


圖 13 — 283

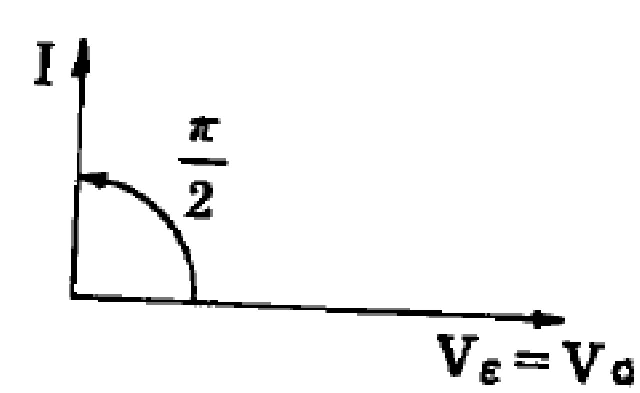


圖 13 — 284

$$\frac{q}{C} = V_0 \sin \omega t$$

將此方程式微分（$I=\frac{dq}{dt}$），得

$$I=\omega CV_0\cos\omega t=\omega CV_0\sin(\omega t+\frac{\pi}{2})$$

因此電路上之電流超前跨接電動勢一個角度$\pi/2$，而其振幅I_0為

$$I_0=\omega CV_0 \quad 或 \quad V_0=\frac{1}{\omega C}I_0$$

注意$V_C\doteq q'C$，因此跨越電容器之電壓降落落後電流$\pi/2$。向量圖解示於圖13－284。

【電容箱】（Capacitance box）

裝在一個箱子內的一組電容器，這些電容器的電容量大小各不相同，但都是已經準確知道的。電容箱用來選擇所需要的電容，將電容箱中的一個或數個電容器接入電路，校準後，即取得合適的電容量值。

【電容耦合】（Capacity coupling）

兩電路或兩級間利用電容器作信號電力的通路，將兩個沒有關係的電路連絡起來，由接於兩個電路中的電容C而作成的電路之間的耦合。如果在其中的一個電路內有電流流動，則電容片上便產生電壓，作用於包含這一電容的另一電路。

【電容器】（Condenser）

由兩個互相絕緣且具有一定電容的導體系統所組成的器件。電容器板的表面越大，二板相隔越近，則此電容器的電容便越大。電容器板通常作成若干薄片，各片間以不大的空氣隙或介質薄層互相隔開。板間距離比板的尺寸小得多的電容器可以視為平行板電容器（甚至板並非平面，而是捲成管狀時也可以認為它是平行板電容器）。採用絕對靜電單位制時，平行板電容器的電容由下式表示：

$$C(厘米)=\frac{\varepsilon\cdot S}{4\pi d}$$

式中S爲每塊板的面積，單位爲平方厘米；d爲板間距離，單位爲厘米；$4\pi = 12.56$；ε爲板間介質的介電常數。平行板電容器的電容以微微法表示時，由下式來計算是足夠準確的：

$$C\text{（微微法）} = \frac{0.088 \times \varepsilon S}{d}$$

由於板間電介質不同（空氣、紙、雲母等），電容器可分爲空氣電容器、紙質電容器、雲母電容器、鈦瓷電容器、眞空式電容器等。如果平板的表面與板間的距離都是固定不變的，則電容器的電容量也就是固定不變的。如果需要改變電容器的電容，則採用可變電容器，即板間距離可以移動的電容器，或更常用的是電容器板的工作表面可以改變的電容器。大部分工廠出品的電容器都屬於後面一個類型，其中一組平板（動片）可以繞軸而旋轉，轉入另一組平板（定片）之間的空隙內，這樣就改變了電容器板的對立面積，同時也就改變了它的電容。

最老式的電容器稱爲來頓瓶（*Leyden jar*），今仍用於大量放電的情形。此外尙有電解電容器和標準電容器。

用於聲頻電路中之固定電容器，大都爲紙質、雲母及電解質電容器。紙質及雲母式，其耐壓約在 400～600 V 之間。 紙質的容量在0.01～0.1 $\mu\mu f$ 之間，雲母約在0.001～0.01μf 之間。

用於射頻電路中的固定電容器，以雲母、鈦瓷及眞空式爲多。雲母及鈦瓷式的耐壓約在 600V 以下，眞空式耐壓約 5,000 V 左右。 容量約在 0.0001～0.001 $\mu\mu f$ 之間。

電容器的組合，可以分爲兩類：串聯與並聯。在串聯組合中（如圖 13—285），一電容器的負板連接於次一電容器的正板，以後依次這樣連接。結果，在所有的電容器的板上均帶有相同的正電荷或負電荷。令V_1，V_2，V_3，……爲跨於每一電容器的電位差，如果C_1，C_2，C_3，……爲它們各自的電容，則得

$$V_1 = \frac{Q}{C_1}\ ,\quad V_2 = \frac{Q}{C_2}\ ,\ \cdots\cdots,\ V_n = \frac{Q}{C_n}$$

於是總電位差爲

$$V = V_1 + V_2 + \cdots\cdots + V_n = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots\cdots + \frac{1}{C_n}\right) Q$$

此一電容器組可視爲單一電容器，其電容 C 滿足 $V = Q/C$ 的關係式，所以

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots\cdots + \frac{1}{C_n} \quad (\text{串聯})$$

由上式可得電容器串聯時的合電容。

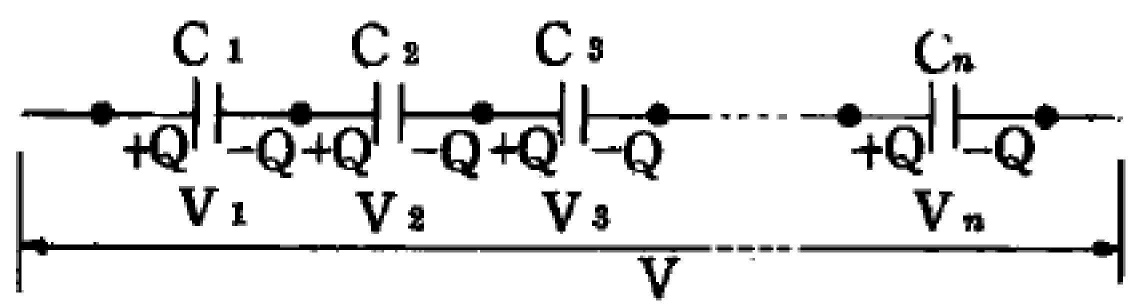


圖 13 — 285　電容器的串聯

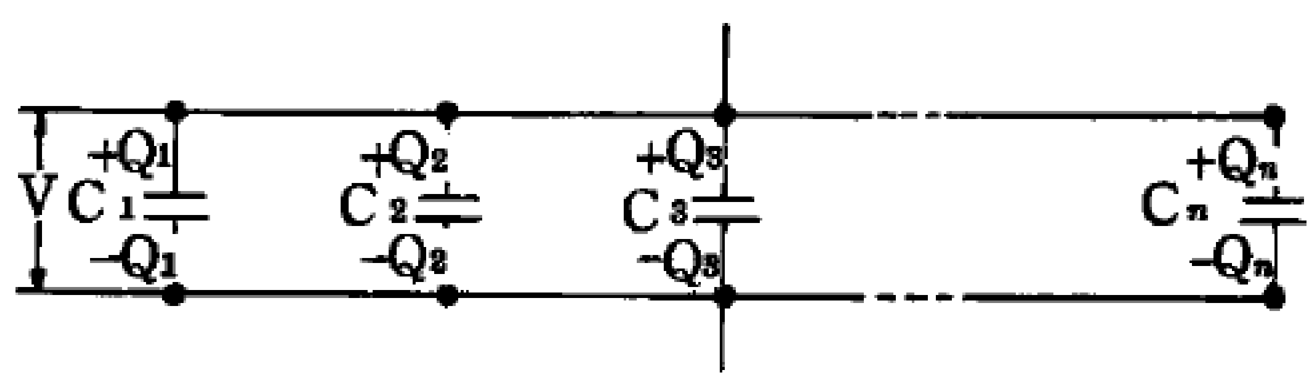


圖 13 — 286　電容器的並聯

在並聯組合中（圖13 — 286），所有正板連接於一共同點上，而所有負板連接於另一共同點上，因此對每一電容器而言，電位差 V 都相同，假如它們所帶的電量分別爲 Q_1 ，Q_2 ，……Q_n ，則得

$$Q_1 = C_1V\ ,\ Q_2 = C_2V\ ,\ \cdots\cdots,\ Q_n = C_nV$$

此電容器組之總電荷爲

$$Q = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n = (C_1 + C_2 + \cdots + C_n)\, V$$

此電容器組可視爲單一電容器，其電容滿足關係式 $Q = CV$ ，故

$$C = C_1 + C_2 + \cdots\cdots + C_n \quad (\text{並聯})$$

上式即代表電容器並聯時的合電容。

爲適應電子裝備中不同電路的要求，電容器的類型甚多。一個純粹的直流電路，理論上說來，根本不需要用到電容器。用到電容器的地方

，必然是交直流混用的場合。

任何電子裝備，都是交、直流混合的電路。電容器在電子裝備中，主要是要它對交流電部分發揮其功能。電子裝備的交流電部分，因爲頻率的關係，使電容器的製造，必須有基本上的不同。其主要的關鍵是選用合適的絕緣介質。

選用絕緣介質以製造電容器，必先符合下列要求：(1)體積力求其小。(2)容量力求其大。(3)耐壓力求其高。(4)內阻力求其大。(5)射頻損失要小。(6)組織均勻堅密。

絕緣介質分自然物質及人造物質兩類。前者如雲母、空氣；後者如蠟紙、植物油、人造樹膠與電木、玻璃、瓷質及電解質等等。

電子裝備的頻率範圍雖然極廣，但電容器的製造可以區分爲適用於下列幾個頻段的五類：

1. 電源電路——通常以每秒 50 *Hz* 爲最低頻率。

2. 聲頻電路——通常以每秒 100 *Hz* 爲最低頻率，而以 20 *kHz* 爲最高頻率。

3. 射頻電路——通常以 100 *kHz* 爲最低頻率，以 30 *MHz* 爲最高頻率。

4. 超短波電路——以波長 10 公尺（30 *MHz*）以下，1 公尺（300 *MHz*）以上爲界限。

5. 微波電路—— 300 *MHz* 以上（波長 1 公尺以下）。

適用於射頻電路的電容器，大都可適用於超聲波、長波、中波及短波波段的電子電路中。在微波的調諧電路中，因爲頻率甚高，其電容作用已由電子管等主要組件的分佈電容代替，故已用不到有形的電容器了。若有需要，其電容器大抵以眞空爲絕緣介質。

電容器於充電後，在兩導片間形成靜電場。此電場之力線在近邊緣的部分，因同性相斥而向鄰近擴散，稱爲邊際效應（*edge effect*），

成爲引起相鄰電路間發生意外交鏈（ *link* ）的一個因素。

電容器充電時，必須經歷一時間的過程（ *transcient* ），即必須經過相當時間，才能充至滿壓。換言之，電容器的充電電流超前（*leading* ）於其電壓，其時間過程在相位的角度上相差 90°。亦即其充電滿壓在時間與相位（ *phase* ）上較電流滯後（ *lag* ）90°，放電時情形亦同。

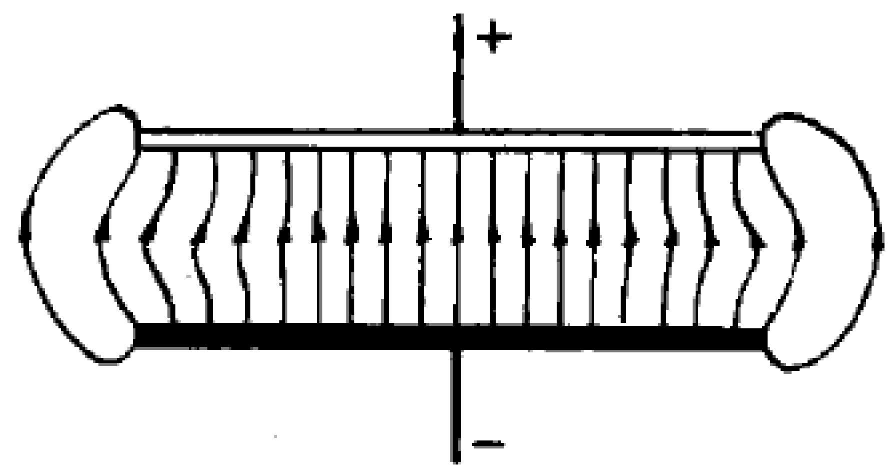


圖13—287
電容器的邊緣效應

電容器充電與放電時間雖可予以控制，但亦瞬息之間即告完畢。其不同於蓄電池之處，爲電容器充電後，不能使電能存備陸續地任意取用。它放電（*discharge* ）時會迅速地把電能一次放完，或經外路反覆放電→充電→放電的程序而消盡其所儲電能。雖亦可使其放電的速度減慢，在實用上只取其瞬息的控時（ *time control* ）作用而已。

電容器充電後的電壓極性（ *polarity* ），和兩端所接充電電源的電壓極性相同，即其充電所生的電壓是充電電源的反電壓（ *inverse voltage* ）。在數學的意義上說，電容器充電後所生之電壓爲一虛數。但此虛電壓（ *imaginary voltage* ）卻是切切實實的存在的，故於修護電子裝備時，必須小心勿使身手任意觸及，並經確認已使放電後才可從事處理的工作，庶免電擊（ *electric shock* ）。

【電容器放電】（ Condenser discharge ）

電容器充電後，使兩導片短路，即發現火花，以前儲納之電能，轉變成光、聲、熱、磁等，稱爲電容器放電。

【電容器中積貯的電能】（ Energy stored in condenser ）

積貯於電容器之電能，即積電時前後之總工作。其積貯電能之多寡，可由下式推計之：

$$W=\frac{1}{2}QV$$

$$=\frac{1}{2}CV^2 \text{（焦耳）}$$

式中W爲積貯電容器中之電能（焦耳）。C爲電容量（法拉）。V爲電容器二金屬片間之電壓（伏特）。Q爲電量（庫倫）。

【電容分壓器】（Capacity type potential divider）

不同容量的電容器串聯，可使選定頻率的交流電流於通過串聯電容器時，產生不同的IX_C電壓降。故電容分壓電路實爲一簡單的濾波電路，對於頻率有選擇性。

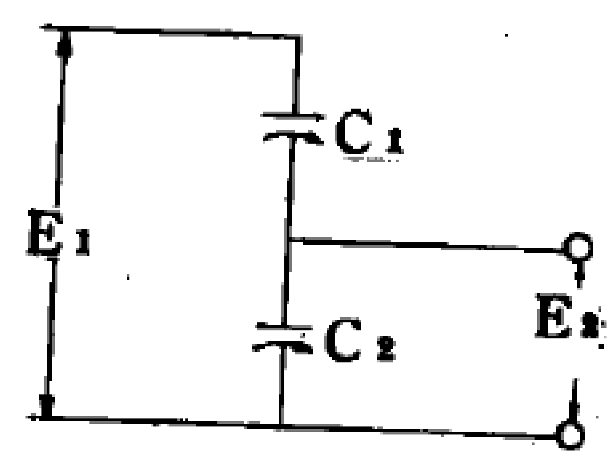


圖13—288　電容分壓器

一如電阻分壓器在直流電路中的分壓作用，電容器的串聯電路，構成聲頻，視頻及射頻電路的分壓器。以附圖13—288爲例，其分壓作用爲：

$$E_2=E_1\frac{X_{C_2}}{X_{C_1}+X_{C_2}}$$

【電容器旁路】（By-pass condenser）

在電子管同級或不同級電路之間，或電子管電路和電源電路之間，爲免除不必要的反饋，或因通過合用的同一電源而發生意外的耦合，以致發生汽船聲或振盪的嘯叫聲起見，常在支路分壓部分，視電路中頻段的範圍，而採用適當容量的電解質、紙質或雲母質電容器，一端並聯於電路分壓部分後另一端通地（機殼），稱爲旁路（*by-pass*）。旁路電容器常兼具濾波和退耦（*decoupling*）的作用。

一電子管放大電路中，常串聯一電阻器R，如附圖13—289所示。目的在藉電子管陰極電流通過R時產生一電壓降，取其負性電壓以供電子管柵極（*grid*）G的需要。但此陰極廻路中有直流和交流兩種成分。其交流成分

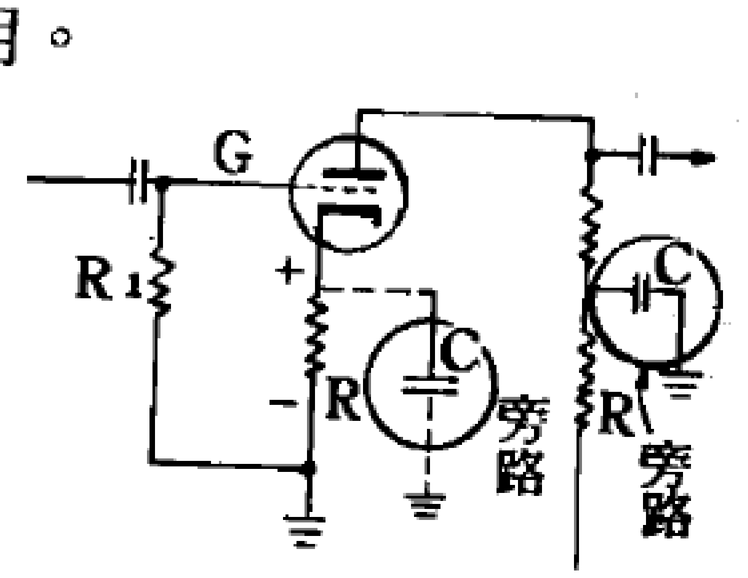


圖13—289

若亦任其通過R而形成變動的電壓，則將引起同相反饋而發生振盪，以致破壞其放大作用。為免除此項反饋，必須在R上並聯一電容器C，使陰極廻路中的交流成分經電容器而旁路通地，以資補救。

此種方式在射頻及聲頻放大器中使用極廣，稱為自偏壓（*self bias*）。

玆假定在一聲頻放大器的偏壓電阻（*bias resistor*）$R=1{,}000\Omega$，欲使陰極廻路中的聲頻交流成分旁路，旁路電容器的容量以電容抗X_C為標準。若X_C能有被其旁路的電阻阻值的 1／10， 即可獲得滿意的旁路效果。今R既為 1,000 Ω，則X_c以 100 Ω 為宜。按$X_C = 1/2\pi fC$，即$C = 1/2\pi fX_C$聲頻電能的最低頻率可以每秒 15 Hz 計，故知此處最理想的旁路電容器的容量應為：

$$C=\frac{1}{6.28\times 15\times 100}=0.0001\text{法拉}=100\text{微法拉}$$

100微法拉的電容器價格極貴，且現貨每只大都在 50 微法拉以下。實用上此旁路電容器對最低頻率的旁路要求不須如此嚴格。按電子裝備的電源大都採自每秒 50 Hz之交流電源。故若將每秒 50 Hz為旁路的最低頻率，則已可使最可厭的哼擾（*hum*）免除。故最合實用的電容量當為：

$$C=\frac{10^6}{6.28\times 50\times 100}=32\text{微法拉}$$

購用一只 40 或 30 μf 的電糊式小型電容器，在此電路中均可獲得相當滿意的效果。此種電容器的耐壓，大都在 50 伏特以下， 專供自偏壓電路旁路之用。

【電容器傳聲器】（Condenser microphone）

電容器傳聲器是利用電容器的充電作用構成的。電容器的一片固定在傳聲器底部；另一片採用柔韌有彈性的膜片，靠向接受音波的一面。當電容器接上電壓後，就立刻充電。膜片受音波的壓力而振動時，電容

量就發生變化，充電的電流也就跟著變化。電容器的電容量約 50 微法拉（10^{-6} 法拉）左右，因此隨音波振動所改變的電容量更小，所以用高電阻約 50 $meg\Omega$（10^{6} 歐姆），使能產生較高的電壓輸出約爲 0.17 mV（10^{-3} 伏特），輸出水準（*output level*）約 − 95 *db*。電容器的輸出雖然很小，但因電容量小的緣故，總阻抗（*impedance*）卻很高。因輸出小而阻抗高，不能用較長的導線輸送，所以要直接裝在放大器上。因此電容器傳聲器就必須將微音器本身與前置放大器（*pre-amplifier*）裝在一起，如圖 13—290 所示。電容器傳聲器因和放大器裝在一起，所以它的體積很大。

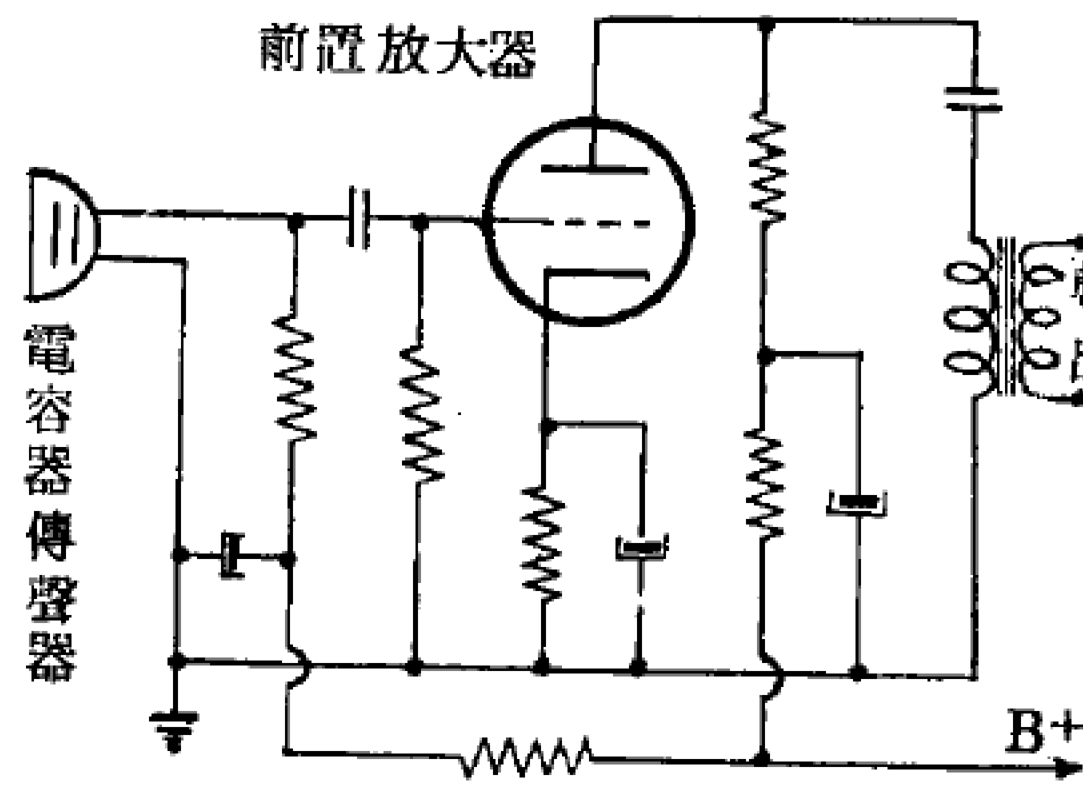


圖 13—290
電容式傳聲器與前置放大器

電容器傳聲器的音頻響應（*audio frequency response*）自 30～20,000 *Hz* 都很好且雜音很低，在播音室中頗受人歡迎。電容器傳聲器，因爲充電的電壓要在 200*V* 左右，所以電容器二片金屬板間的絕緣必須良好，否則被潮氣或灰塵侵襲就會發生漏電而引起雜音及失眞。不用時要藏在乾燥的盒子裏妥爲放置，再加它的體積較大而笨重，因此其一部分用途逐漸被晶體式等新式的傳聲器所取代了。

【電容器損壞】（Condenser breakdown）

或稱電容器破裂。電容器接以相當高的電壓，超過其耐壓值時，電容器的介質立即絕緣破裂，電容器宣告失效。

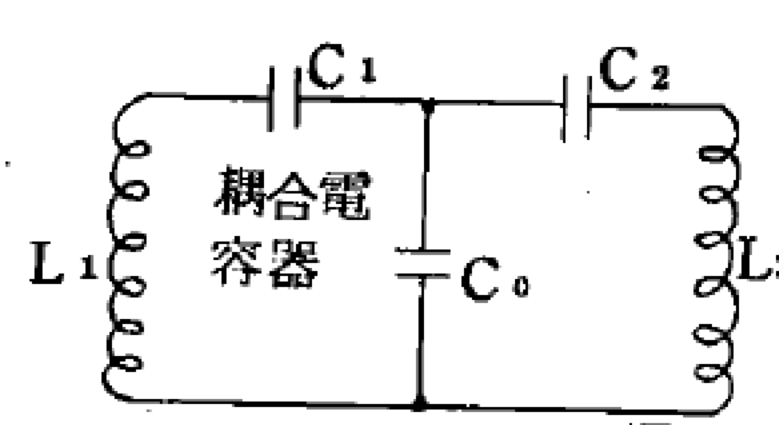


圖 13—291

【電容器耦合】（Condenser coupling）

兩射頻電路間，可藉電容器直接耦合，以作寬頻帶電能的轉遞，在電視接收機中使

用頻廣。圖 13 — 291 C_0 即爲專任耦合的電容器。若 L_1C_1 及 L_2C_2 常數不同，則電容器耦合爲通帶濾波器（*band pass filter*）電路之一，其頻率寬度決定於其耦合係數（*coupling coefficient*）k。若 L_1C_1 及 L_2C_2 的常數相同，則電容器將純爲轉遞電能的中介，而不負頻率選擇的責任。電容耦合的耦合係數 k 可由下式求得：

$$k=\sqrt{\frac{C_1C_2}{(C_1+C_0)(C_2+C_0)}}$$

【電容器輸入式濾波器】（Input-type filter of capacitor）

圖 13 — 292 電容器輸入式濾波器的作用情形，與抗流圈輸入式濾波器稍有差異。整流器的輸出電壓，首先向電容器輸入式濾波器的輸入端電容器充電，使其端電壓達到整流器輸出脈衝電壓的峰值。整流器所輸出的脈衝與脈衝之間的時間，電容器幾乎能保持其所有的電壓而不變，經抗流圈及負載電阻僅有輕微的放電現象。所以在整流器輸出脈衝之間，濾波器輸出電壓只有少許下降，其波形如圖 13 — 293 所示。如果輸入的脈衝電壓相同，電容器輸入式濾波器的輸出電壓，較抗流圈輸入式濾波器的輸出電壓大。

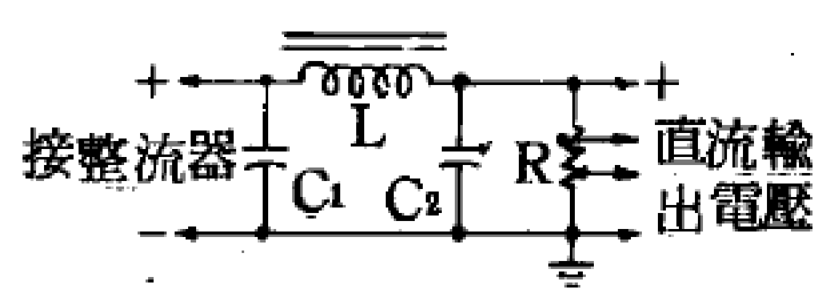


圖 13 — 292

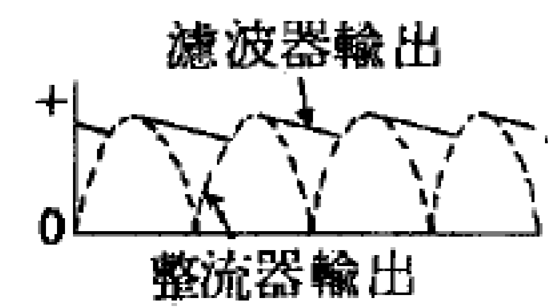


圖 13 — 293

整流器輸出電流的起伏部分，可由串聯的抗流圈予以阻止，及輸出端並聯電容器 C_2 所形成的旁路，使其流入地。就是將此經過濾波的電壓，再經相同濾波器的濾波，其輸出仍有交流漣波存在。當負載電流增加，電容器輸入式濾波器的輸出電壓將急速下降。因此，此種濾波器的電壓調整，較抗流圈輸入式濾波器爲差。

爲了向電子管不同的電極，提供適當電壓，一如圖 13 — 293 所示濾波器的洩放電阻上裝有接頭。此洩放電阻，就是一個分壓器，並且又

能提供所需的洩放電流。

【電脈衝產生器】(Pulse generator)

一單穩多諧振盪器 (*monostable multivibrator*) 具一穩態和一半穩態 (*quasistable state*)。電路停留於穩態(圖 13—294),直至一觸波訊號(*triggering signal*)引起而躍遷至半穩態,再經一時間T後,此電路又還原回穩態,因此就產生了一脈衝。

此電路如圖 13—294 所示。假設是處於穩態,其輸出 $v_0 = +V_z$,而電容截剪電壓為

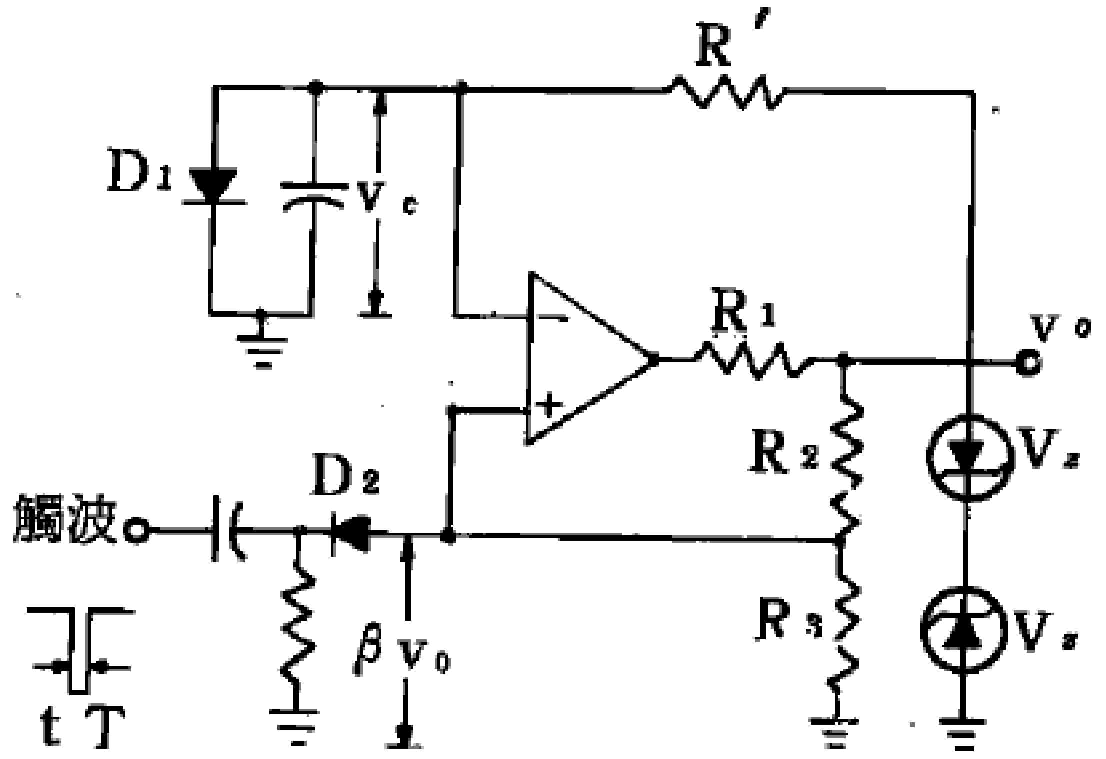


圖 13—294
單穩多諧振盪器

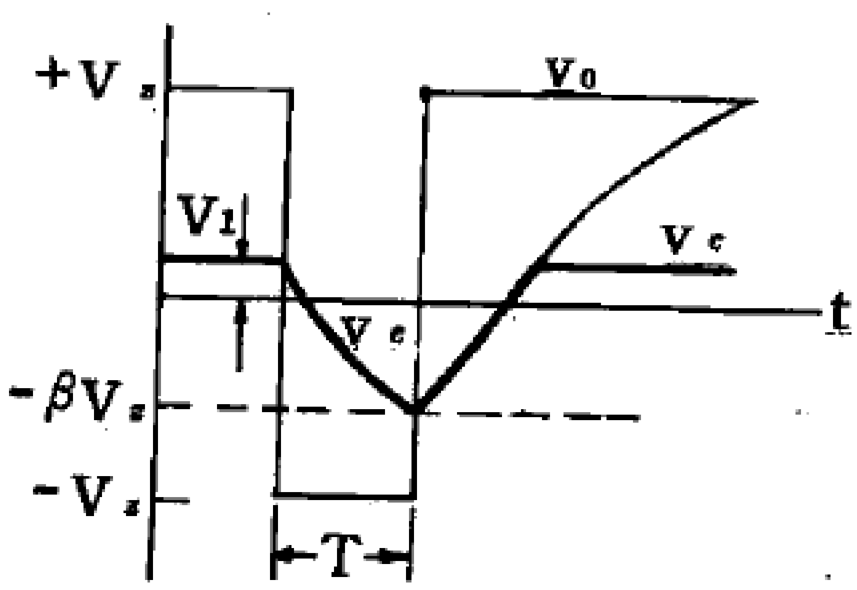


圖 13—295
輸出和電容電壓波形

$$v_c = V_1 \approx 0.7\,V$$

(D_1 的通路電壓是 $\beta V_z > V_1$) 如果觸波幅度大於 $\beta V_z - V_1$, 則輸出為 $v_0 = -V_z$,電容經R'充電至$-V_z$,因D_1反向偏壓,當 v_c 比 $-\beta V_z$更為負,其輸出還原為$+V_z$,此電容再經R'充電至$+V_z$,直至 $v_c = V_1$,

而
$$T = R'C\, ln\, \frac{1 + (V_1/V_z)}{1-\beta}$$

若$V_z \gg V_1$和$R_2 = R_3$,則 $\beta = \frac{1}{2}$,而$T = 0.69\,R'C$。如圖 13—295。

【電振盪】(Electric oscillation)

由電路、迴路或線路等內部所產生的電流、電壓或電荷的週期性往復放電現象,稱為電振盪。有:

1. 電振器（*electric oscillator*）——產生電振盪的裝置。

2. 振盪電路（*oscillatory circuit*）——產生電振盪的電路。

3. 調諧電路（*tuned circuit*）——可生諧振的振盪電路。

根據頻率的不同，通常將電振盪分成兩類，頻率低於 15,000 赫的低頻振盪與頻率高於 15,000 赫的高頻振盪。因頻率低於 15,000 赫的低頻振盪能在人耳內產生聲音的感覺，而頻率高於 15,000 赫的振盪，人的耳朵是聽不見的。因此如果將低頻振盪轉變爲機械振動（如轉變爲耳機振動膜的振動），就可以聽見；但若將高頻振盪變爲頻率相同的機械振動，則人耳是聽不見的。目前一般又將電振盪劃分爲高頻振盪和視頻振盪，前者包括可以輻射無線電波的全部頻率，而後者指的是利用無線電發射的信號的頻率。

最普遍的電振盪型式就是普通的交流電流，在這種情形，電路中的電壓和電流是週期地變化著。這種振盪具有 50赫的頻率。 此種比較緩慢的電振盪一般是利用交流發電機而獲得的。比較快速的電振盪是用特殊的方法來產生，其中最重要作用的是電子管振盪器。

簡單振盪器因有阻滯關係，在實際應用上已經淘汰，代之而起的是用柵極反饋（*feedback*）的眞空管線路產生電振盪。

電振盪形成之步驟玆說明如下：

1. 如圖 13—296(*a*)，已充電的電容器 C，與一線圈 L 連結爲一通路。由於線圈的自感應，此電路中的電流卽徐徐增加，而電容器兩端間的電壓則漸減，直至兩端的電壓爲零。

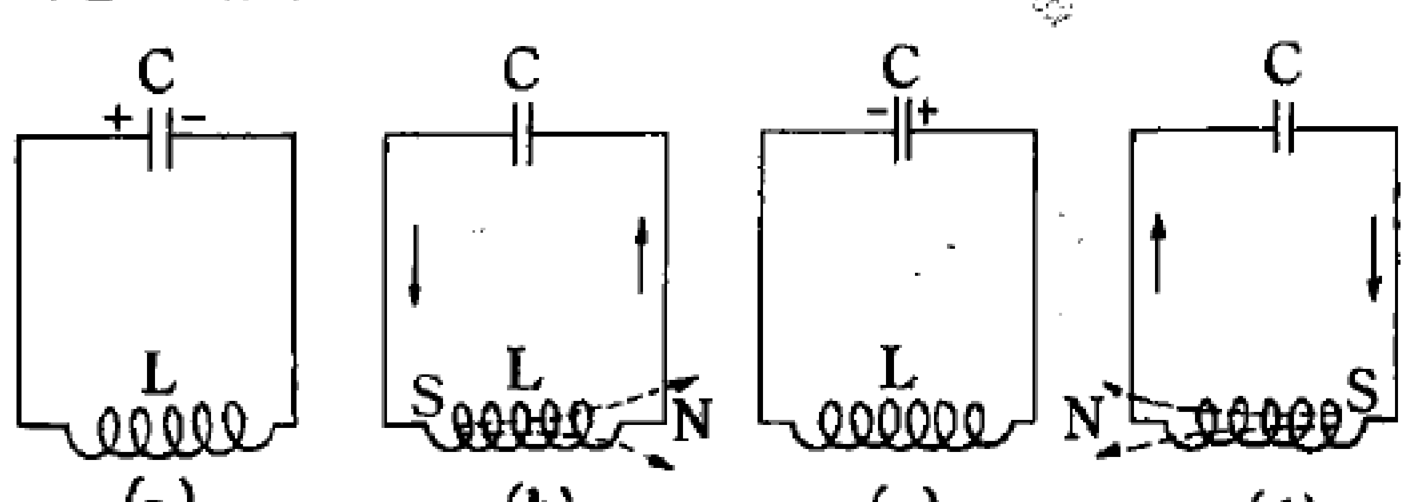


圖 13—296

2. 如圖 13—296 (*b*)，電容器上無電荷，放電電流達於最大，線圈周圍之磁場亦增至最大。此時線圈所生的自感應電流卽依方才來自電

容器之電流同向（由楞次定律）充電於電容器中，使電容器之兩極，帶與前相反之電。

3.如圖 13—296(c)，電流達於零時，線圈周圍的磁場消失。電容器兩端之電壓最大。電容器開始反向放電，其步驟與 1.、2.同。

4.如圖 13—296(d)，當電容器上無電荷時，由線圈之自感作用，電流仍繼續通過，再予電容器充電。

電振盪即由此反覆充、放電所形成。此電流稱爲振盪電流。

在含有電感 L、電容 C 和電阻 R 的簡單串聯電路中，若以電流感應之或加一瞬時電壓，則電容器上存積的電荷 q 隨時間變化的情形可以微分方程式表示

$$L\frac{d^2q}{dt^2}+R\frac{dq}{dt}+\frac{q}{c}=0$$

電容器上的電荷 q 將以固有頻率 ν 而振盪

$$\nu=\frac{1}{2\pi}\sqrt{LC-R^2/4L^2}$$

若電路的電阻 R 非常小（$R\rightarrow 0$），則爲正弦振盪，頻率爲 $\frac{1}{2\pi}\sqrt{LC}$；電容器上的電荷在時間 t 時爲

$$q=sin\sqrt{LC}\ t$$

式中 C 與 L 須用同系統的單位。如 C 以法拉爲單位，則 L 以亨爲單位；二者均用電磁單位或靜電單位亦可。

在 $LC<R^2/4L^2$ 的情形，則根本不振盪。振盪時電路的能量消耗部分以電波的形式發射出去。各種發射電波的振盪器就是利用電振盪發射電波的原理。

電振盪與機械振盪比較如下：

1.均爲能量的交互變易——機械振盪爲動能與位能的交互變易。電振盪爲蓄於電容器中的電能與貯在磁場中的磁能之交互變易。電容器

放電時，振盪電路中電容器電場中的電能，即漸變爲線圈磁場中的磁能；電流中止時，則磁能漸變爲電能。

2. 均爲阻滯振盪（*damped oscillation*）——即漸振漸衰的現象。機械振盪因受空氣阻力及其他摩擦的影響，故有此現象。若振盪電路有火花隙，則有部分電能散失於空間。因任何電路之電阻皆不爲零，故振盪電路中的電能皆逐漸消耗而轉變爲熱；電能既減，電流自弱，以致停止。電流與時間之關係如圖 13 — 297 所示。利用眞空管可產生任何頻率之無阻滯振盪。

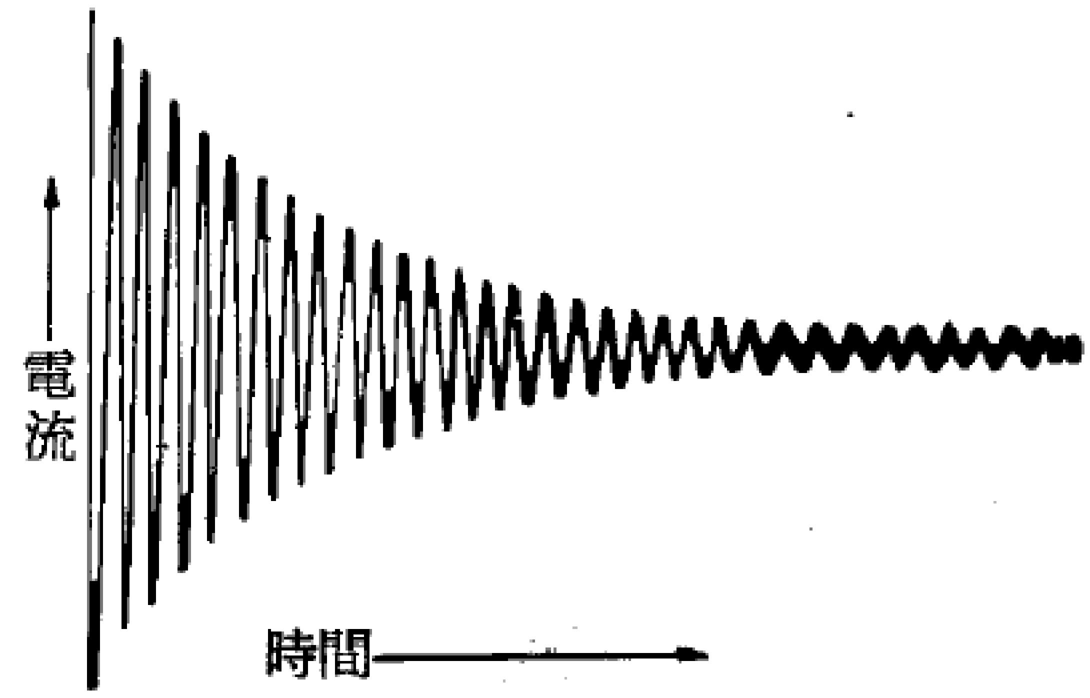


圖 13 — 297

3. 欲持續振盪，均需補充能量——維持機械振盪，需另補充以機械能。維持電振盪，需另補充以電能。

【電焊】（Electric soldering）

電焊就是利用通電導體生熱來焊接兩個金屬部分的工具。

1. 電阻法焊接——在兩個接觸著的金屬塊處通以強大的電流，接觸處生熱而溫度升高，以致使金屬軟化。這時再加以外壓力，則二塊金屬即焊接在一起。

2. 電弧電焊——把被焊接之物作爲電弧的一極，由於電弧使焊接處生熱後熔化而焊接在一起。通常需要 250 ～ 400 安培的電流和 25 ～ 50 伏特的電壓。

【電眼】（Electric eye）

亦稱爲調諧指示器（*tuning indicator*）。是一種特製的電子管，常裝在無線電接收機的面板上，用來指示接收機的調諧是否準確。當接收機調諧得準確時，管內頂部的靶子上全部發光；如果調諧不準，靶子

上就有部分陰影出現。由於它像眼睛的張閉，所以俗稱電眼。

在化學上有幾種重要的含銅氧化物，如硒、鉒、鈦，以及鹼金屬如鋰、鈉、鉀、銣、銫和鍅等，都具有光電的特性，曝於光下就會引起電子的激動。其中有些在光的影響下能發生微弱電流。所以光電物質，取來供作光電池（*photo-electric cell*）之用，通常也叫做電眼。

【電偶】（Electric doublet）

由感應而生之兩種電荷，其電量相等，而符號相反，此時之導體名爲電偶。若不加適當措施，則帶電體移去時，此兩種電荷即因中和而隨之消失。

【電偶極】（Electric dipole）

一電偶極係由相距一微小距離 a，相等而異號的兩電荷 $+q$ 與 $-q$ 所構成（如圖 13—298）。雖然，在電偶極中等值而異號的兩電荷，構成零淨電荷，但事實上此兩電荷稍微分離夠遠時，所構成之電力場並不爲零。

電偶極矩（*electric dipole moment*）$\vec{P}$ 被定義爲

$$\vec{P} = q\vec{a}$$

a 係從負電荷至正電荷之位移。此電偶極於 P 點所構成的電場爲

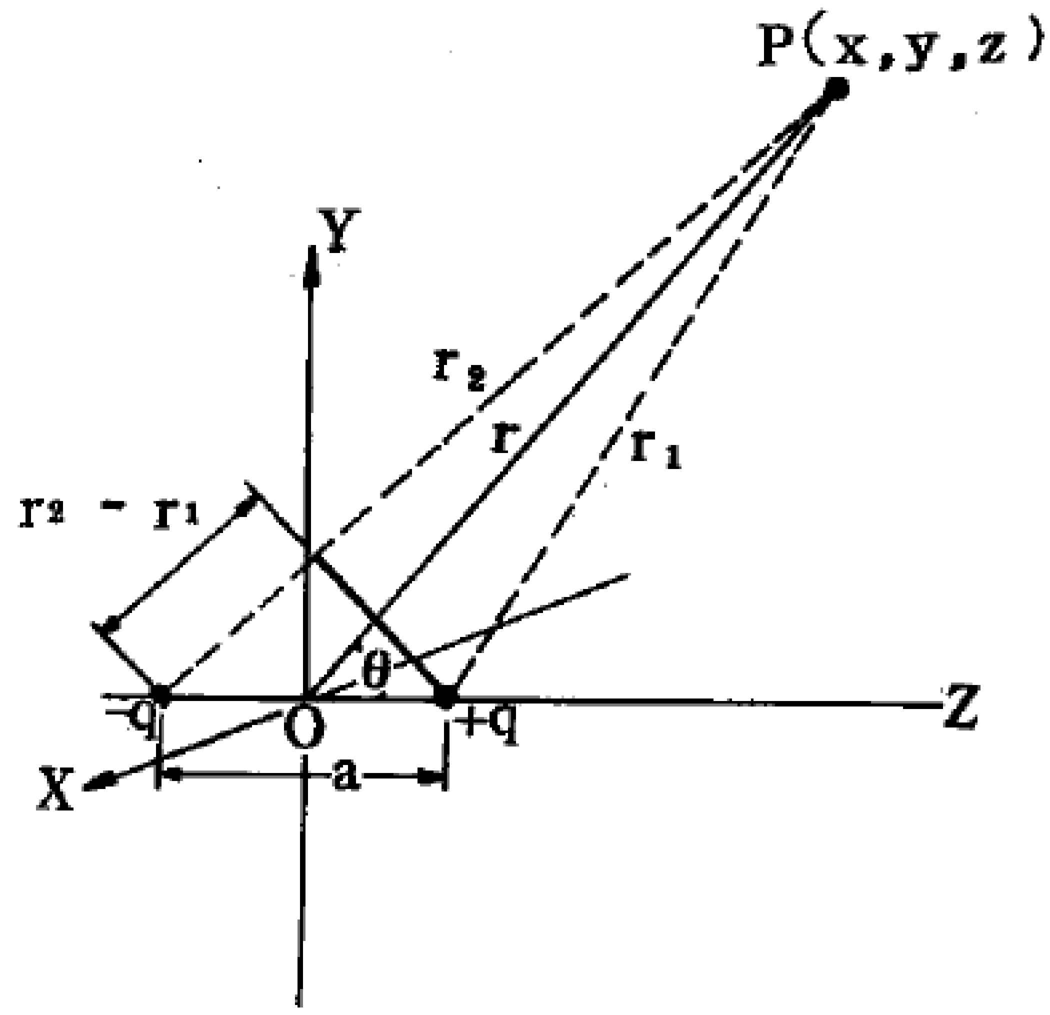


圖 13—298 電偶極

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2}\right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q\,(r_2 - r_1)}{r_1 r_2}$$

若 a 較 r 甚小時

$$r_2 - r_1 = a\cos\theta \qquad r_1 r_2 = r^2$$

則

$$V = \frac{qa\cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

使$P = qa$，此爲電偶極矩。則上式改寫成

$$V = \frac{P\cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

點電荷之電位雖依r^{-1}而變，然偶極之電位係依r^{-2}而變，偶極之電場係依r^{-3}而變，替代單一電荷之電場依r^{-2}而變。在P的電場可分爲Z軸和垂直於Z軸兩分量，卽$E_z = P\dfrac{3\cos^2\theta - 1}{r^3}$和$E_\perp = P\dfrac{3\cos\theta\sin\theta}{r^3}$

則P點的總電場爲$E = \sqrt{E_\perp{}^2 + E_z{}^2}$。

一偶極所產生的電場之電力線，如圖13—299所示。當一電偶極置於電場中時，偶極中兩電荷均受電場之力作用（圖13—300），其合力爲

$$\vec{F} = q\vec{E} - q\vec{E}' = q(\vec{E} - \vec{E}')$$

若電場爲均勻時，則

$$\vec{E} = \vec{E}'$$

卽有

$$\vec{F} = 0$$

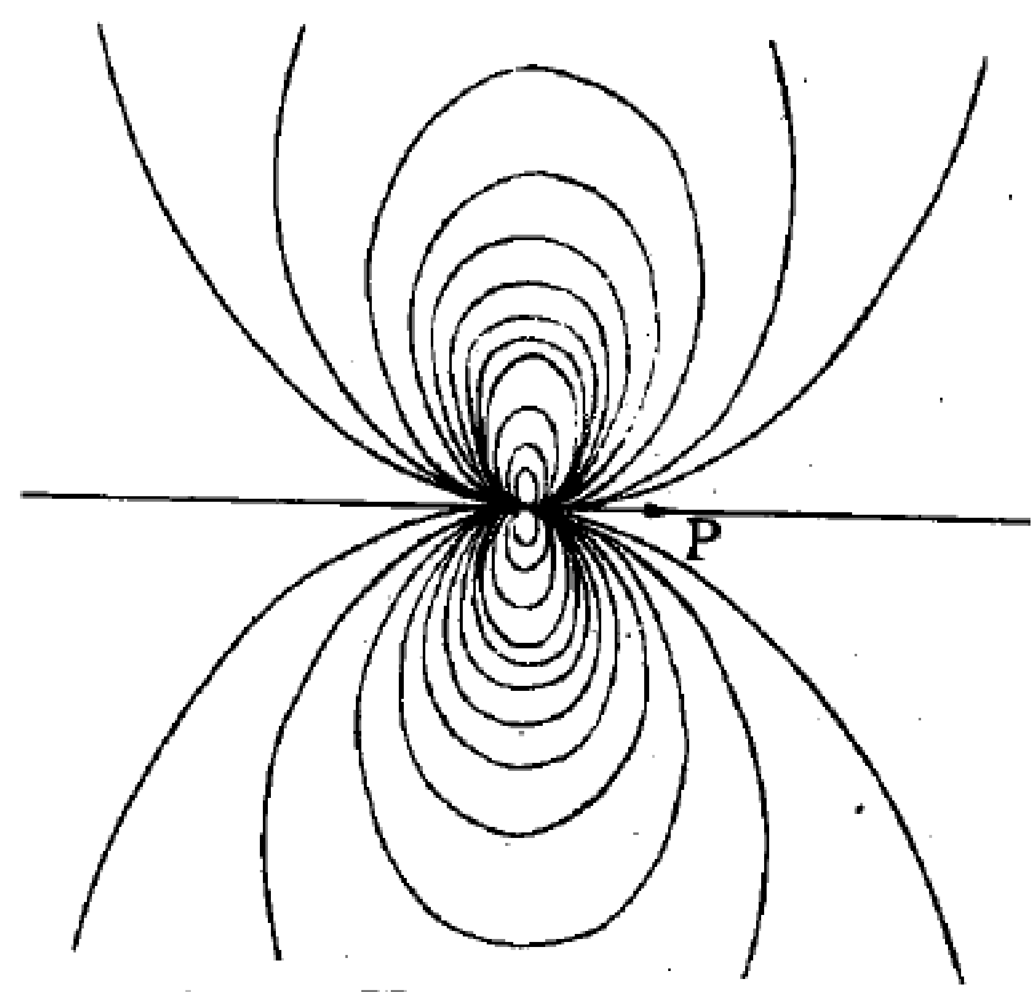


圖13—299
電偶極電場之電力線

於是，均勻電場作用於雙極上之合力爲零。

如有一特殊情況：此情況中之電場爲一沿X軸，非均勻且偶極平行於電場。如是

$$\vec{E} - \vec{E}' = \left(\frac{d\vec{E}}{dx}\right) a$$

因此

$$F = P\left(\frac{dE}{dx}\right)$$

此結果指出平行於電場之一偶極，將趨向於電場增加之方向上運動。若偶極反向平行於電場，其結果亦相反。

置於電場中一偶極之電位能為

$$E_P = qV - qV' = q(V - V') = -qa\left(-\frac{V - V'}{a}\right)$$

若偶極與電場不平行，而相交一夾角θ，即可見出上式中最後一因式恰是電場$\vec{E}$在$\vec{a}$方向上之一分量E_a，因此上式變為

$$E_P = -qaE_a$$

但又因$E_a = E\cos\theta$，故

$$E_P = -PE\cos\theta = -\vec{P}\cdot\vec{E}$$

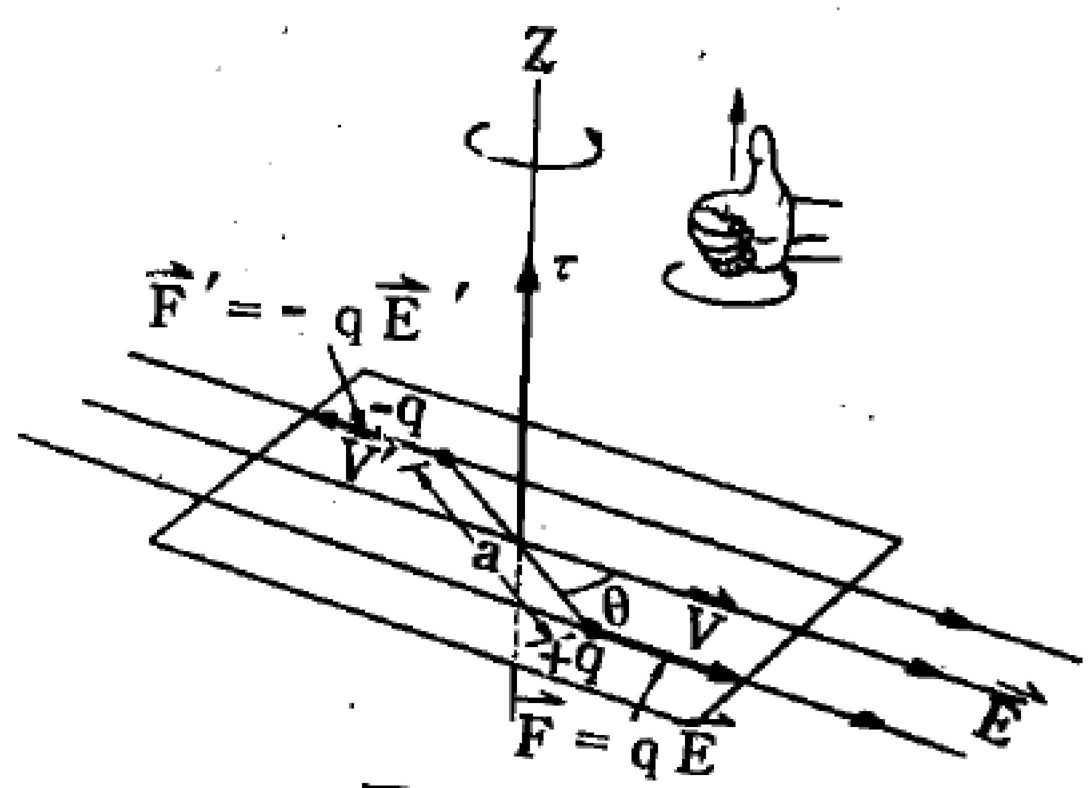


圖 13 — 300
電場中之電偶極

由上式可知，當θ = 0時，偶極之位能為最小，意即當偶極同向平行於電場時為穩定平衡。

若忽略E與E'間之微小差異，則作用於偶極上的二力，qE與$-qE$構成一力偶，此力偶為

$$\vec{\tau} = \vec{a}\times(q\vec{E}) = (q\vec{a})\times\vec{E} = \vec{P}\times\vec{E}$$

由上述表示式及圖 13 — 300，可看出電場施一力偶於偶極，使之轉至於電場同一方向。力偶之大小為

$$\tau = PE\sin\theta$$

而其方向如圖 13 — 300所指示。

若外電場$\vec{E}$非均勻電場，則電偶極受力

$$\vec{F} = \nabla(\vec{P}\cdot\vec{E})$$

許多分子均有電偶極矩，H_2O在汽態時電偶極矩為6.1×10^{-30}庫

倫米。圖 13—301 所示爲水分子的略圖，顯示三個原子核及其周圍的電子雲和偶極矩的方向。分子對稱軸上的箭號代表偶極矩$\overrightarrow{P}$。在此分子中，正電荷的實際中心與負電荷的實際中心並不重合，正由於此種分離而生偶極矩。

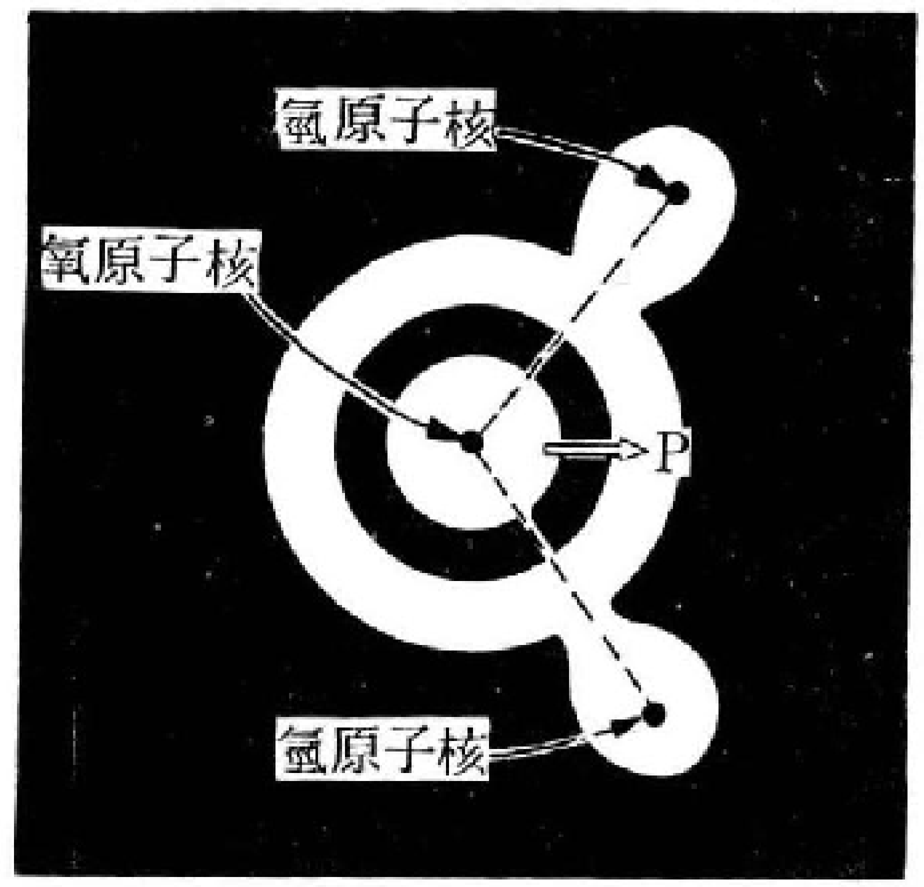
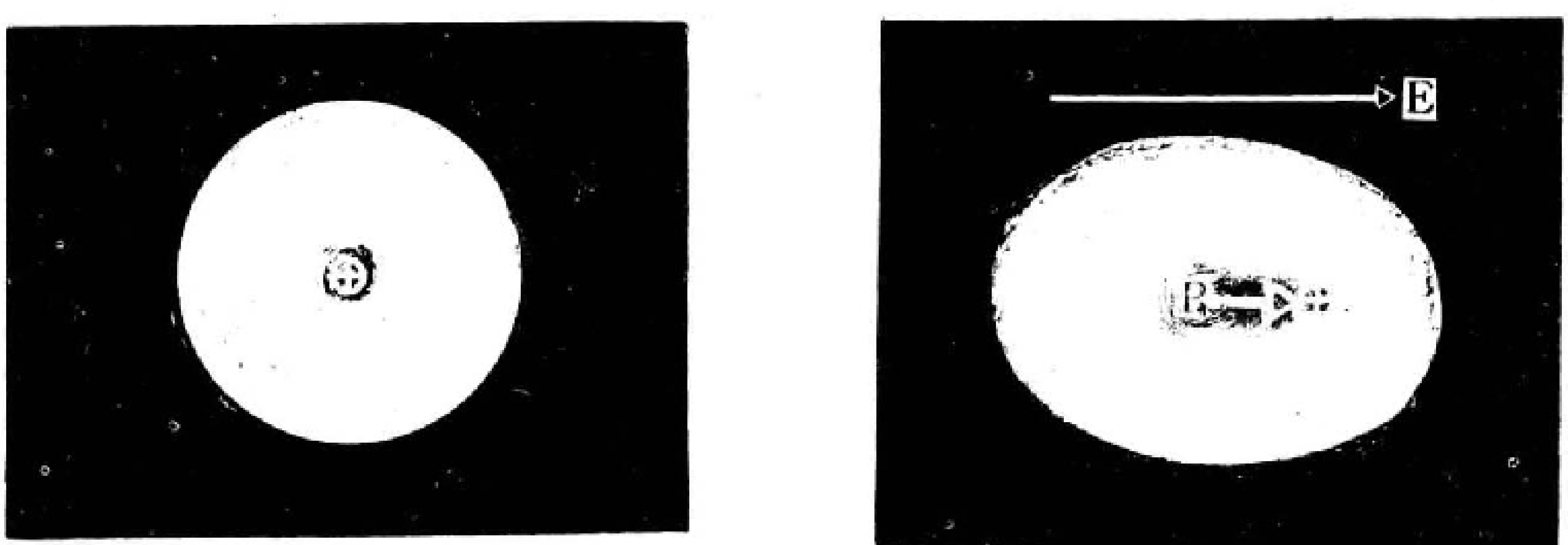


圖 13—301

原子和許多分子並不具有永久偶極矩，但原子或分子置於外電場中時，可能感應而生偶極矩。電場的作用（如圖 13—302）係將正負兩電荷的中心分開，這時稱此原子被極化，而得一感應電偶極矩。除在極爲特殊的情況以外，當電場移去後感應偶極矩亦隨之消失。



(a)圖示一原子的核及其電子雲。負電荷的中心與正電荷的中心（原子核）相重合。

(b)若加以外電場E，電子雲變形而使負電荷中心（標以白點）與正電荷中心不再重合，電偶極因而出現。

圖 13—302

在原子和分子以外之場合，電偶極亦甚重要，無線電和雷達天線通常爲金屬線或桿的形狀，電子在其上作週期性來回波動，在某時刻線或桿的一端爲負他端爲正，半週後端點的極性恰好相反。因偶極矩隨時間而週期變化，故稱爲振盪電偶極矩。

【電偶極矩】（Electric dipole moment）

卽電偶。

詳閱“電偶極（*Electric dipole*）”條。

【電偶極輻射】（Electric dipole radiation）

在原子過程中，宇稱性是守恆的，所以整個系統的宇稱性在光子發射前後應該是一樣，端視原子初態和終態的宇稱性是偶還是奇，輻射的角分佈也因情況的不同而異。初態有奇宇稱性，而終態有偶宇稱性，就是電偶極輻射。如初態和終態的宇稱性一樣，我們稱其爲磁偶極輻射（*magnetic dipole radiation*），它的性質和一廻線中的振盪電流所產生的輻射性質相同。如初態有奇宇稱性，則其振幅變了符號。因原子終態是偶宇稱性，故其振幅不變號。如在此反應中宇稱性是守恆的話，則兩振幅大小相等，符號相反。

【電荷】（Charge）

像電荷之類的物理性質以間斷之包（*packets*）的形態出現，而非連續量的形態，這種性質稱爲量子化。現有的原子和電子及質子之類的粒子顯示質量也是量子化的。電荷 e 的量子太小，故在大尺度之實驗中並不顯出電的顆粒狀（*graininess*），正如我們不覺得呼吸的空氣爲原子組成。

實驗證明電流體（*electric fluid*）不連續，而由某種最小電荷的整數倍所組成，這種基本電荷以符號 e 代表，其電量的多寡，以庫倫或其他單位表之。每秒流過多少電荷稱爲電流。宇宙中電荷有其最小單位，即電子或質子所帶的電荷，等於 4.803×10^{-10} 靜庫倫（1.602×10^{-19} 庫倫）。

因爲帶電狀態有二種，電荷可被分爲正電荷與負電荷。一物體顯露正電化，則帶有較多之正電荷；負電化者則帶有較多之負電荷。一物之淨電爲它的正電荷與負電荷之代數和。一物具有等量的正、負電荷（淨電荷爲零），稱之爲電中性，反之，一質點之淨電荷若不爲零，常稱爲

離子（ *ion* ）。因爲大型物質並未顯示大的電力，故可斷定，大型物質是由等量的正負電荷所構成，如地球。

電荷彼此之間相互作用，相同電荷互相排斥，而相異電荷則互相吸引。如圖 13— 303 這個相互作用由電荷在自己周圍所產生的電場所形



圖 13 — 303

同號電荷間之作用力與異號電荷間之作用力

成。電荷之間的相互作用力一方面隨著電荷的大小而變化；另一方面又隨著電荷之間的距離而變化。所以電荷的大小可以根據其相互作用力來確定。對於點電荷（即其大小遠小於彼此之間的距離）來說，相互作用定律（即庫倫定律）在沒有介質時，具有如下的形式：

$$相互作用力 F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

式中 Q_1 和 Q_2 是相互作用電荷的大小， r 是彼此之間的距離。如果相互作用電荷處於介電係數爲 E 的電介質內，則由於電極化，相互作用力便降低爲 E 分之一。如果是尺寸和彼此間距離相比並不太小的帶電體相互作用，則可將每一帶電體分解成若干遠小於距離的質點，而每個這樣質點的電荷就可以看做是點電荷。一個帶電體對另一帶電體的總作用力可以作爲此物體所分成的點電荷對另一物體所分成的點電荷的全部作用力的合力來計算。電荷的相互作用能使帶電體發生位移，因爲這時要作功，故說明電荷具有能量。每個單獨電荷，即使它不與其他電荷發生作用，也具有能量，因爲電荷各單獨部分如果是自由的，則它們是由於相互作用（相互排斥）的結果而互相遠離，這時便要作功。這個能量叫做電荷的固有能量，以別於相互作用著的兩個或數個電荷所具有的相互能量。每個電荷的固有能量以及電荷組的相互能量都是集中在該電荷等所建立的電場之內。

一電荷 q 在均勻電場中之運動方程式爲

$$m\vec{a}=qE \quad 或 \quad \vec{a}=\frac{q}{m}E$$

由上式看出，一物體在電場中之加速度視 q/m 比率而定，但一般而言，不同的帶電質點或離子，有不同的 q/m 比率，因爲它們在同一電場中之加速度不盡相同。而在重力場中一切物體之加速度均爲同一，此即重力場與電場顯著之不同處。若電場 E 爲均勻時，加速度 $\vec{a}$ 爲一常數，而其電荷之途徑爲一拋物線。

欲討論一帶電質點通過一有限區域之電場（圖 13—304），爲簡易起見，假定質點進入電場時之初速度 v_0 垂直於電場。置一 X 軸平行於質點初速度，Y 軸平行於電場，質點通過電場時，所經由之途徑 AB 爲一拋物線。質點過電場後，以新速度 v，於新方向上重新開始直線運動，則謂電場已引起一折射。而以角度 α 量度之。

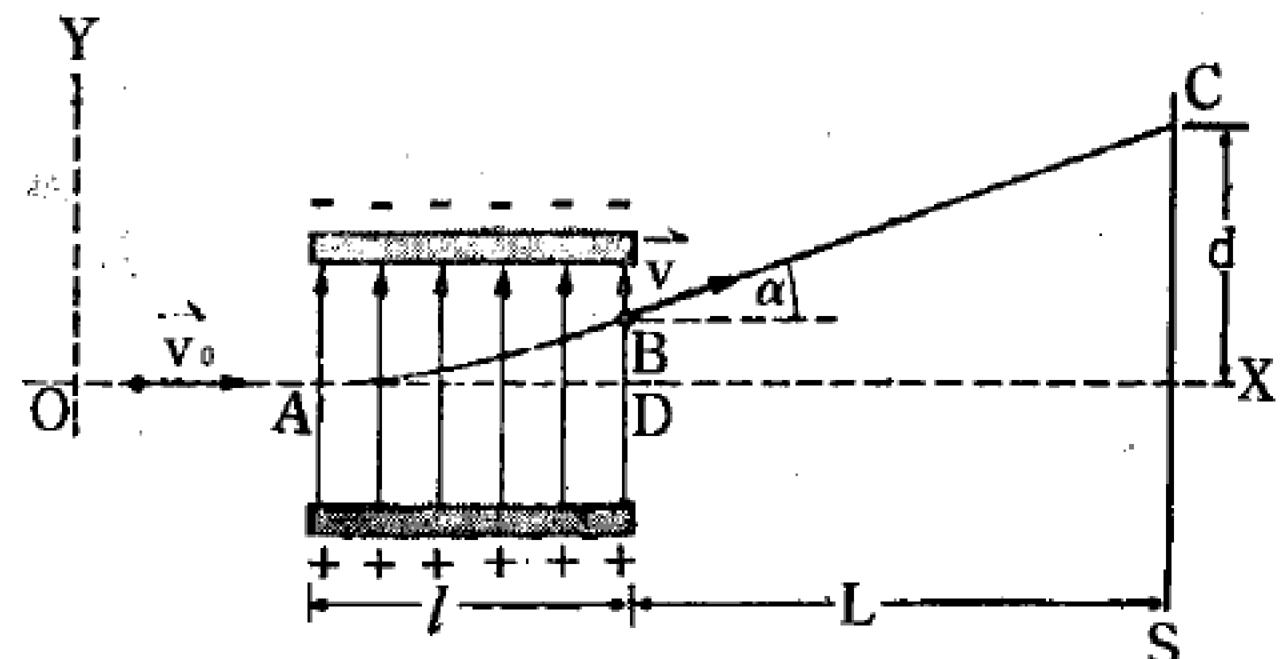


圖 13—304
陽電荷經由均勻電場所生之折射

當質點以加速度 $a=(q/m)E$ 通過電場時，求得質點於 t 時刻之坐標爲

$$x=v_0t \qquad y=\frac{1}{2}(q/m)Et^2$$

消去時間 t，即得軌跡方程式

$$y=\frac{1}{2}\left(\frac{q}{m}\right)\left(\frac{E}{v_0^2}\right)x^2$$

因而證實軌跡爲一拋物線。欲求偏向角 α 可藉由計算 $x=l$ 處軌道之斜率 dy/dx 而得之，其結果爲

$$\tan\alpha=\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=l}=\frac{qEl}{mv_0^2}$$

若置一屏 S 於距離 L 處，具有相同的 q/m 與速度 v_0 之一切質點均抵達屏上一點 C 。若 L 很大時，垂直位移 BD 較之 d 爲小，則 $\tan\alpha$ 約等於 d/L 得

$$\frac{qEl}{mv_0^2}=\frac{d}{L}$$

若已知 q/m 比率，量出 d 、L 、l 及 E ，即可求得速度 v_0（或動能）。反之若已知 v_0 ，即可求得 q/m 比率。因此，當具有同一 q/m 比率之一束質點流，經過電場時質點依據其速度或能量而折射。

【電荷中和】(Charge neutrality)

正粒子和負粒子大致相等時，在高密度離子體中，如果正負電的密度不同，則會產生極大的空間電荷場而使電荷中和。雖然正電和負電密度很難完全相等，但其相差的百分比數太小而可予免計。在活性離子體中由於游離或重合而經常產生或消滅離子對，故不能保持這種情況。

當氣體受激到電漿態，有一種回復其正常狀態的趨勢。在中和作用或重新組合作用（ *recombination* ）之中， 帶正電荷與負電荷質點形成中性質點。例如，電離作用釋出的自由電子能被帶正電荷離子所吸引。中和作用可在一個過程中發生，也可以在一連串的過程中發生，它與電離作用非常相似。存在空間的電荷是電漿的一種，使太空艙返回地球變成一種困難。當一個超音速太空船飛返地球時，它推擊在它前面的空氣質點而形成了一種弓形的震波，在這種震波與太空船之間，產生了高度的電離作用，也就是因爲存在這種弓形震波與太空船之間的高度電荷密度，阻止了太空人與地面導航員的通訊。

【電荷之靜電能】(Electrostatic potential energy)

若有二個帶電體 q_1 及 q_2 ，要將它們帶至相距 r_{12} 的距離，必須作的功是 q_1q_2/r_{12} 。假若現在要將第三個帶電體 q_3 帶至 P_3 這一點，如

圖 13—305。根據重疊原理，所需的功是

$$W_3=\frac{q_1q_3}{r_{13}}+\frac{q_2q_3}{r_{23}}$$

要將這三個帶電體排列成圖 13—305 中的形狀，所需的總能量是

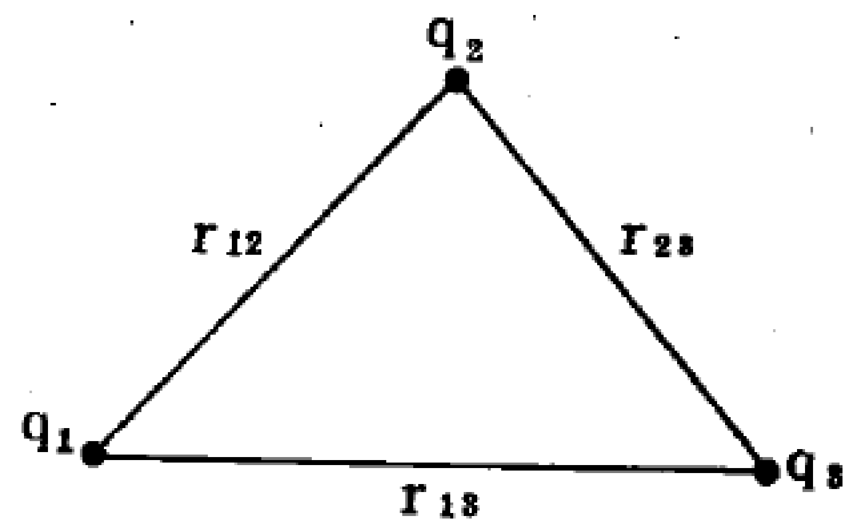


圖 13—305
三個電荷間的交互作用能量只與它之們間的相對位置有關。

$$U=\frac{q_1q_2}{r_{12}}+\frac{q_2q_3}{r_{23}}+\frac{q_3q_1}{r_{31}}$$

在上式中，q_1、q_2 及 q_3 是對稱的。不管先將 q_3 帶至 P_3，或是最後帶至 P_3，都不會影響 U 的值。換句話說，U 與三個電荷排列的先後次序無關。由於 U 與由那條路徑將 q 帶至現場無關，故 U 一定僅是三個電荷相互間的排列形狀的一種特性。稱 U 爲這個系統的電位能。很顯然地，這個結論一定可以推廣到一群電荷的排列。例如有 N 個不同的電荷，在空間作某一形狀的排列，如圖 13—306，那麼這一系統的總能量可以由所有的電荷對的位能相加而得到：

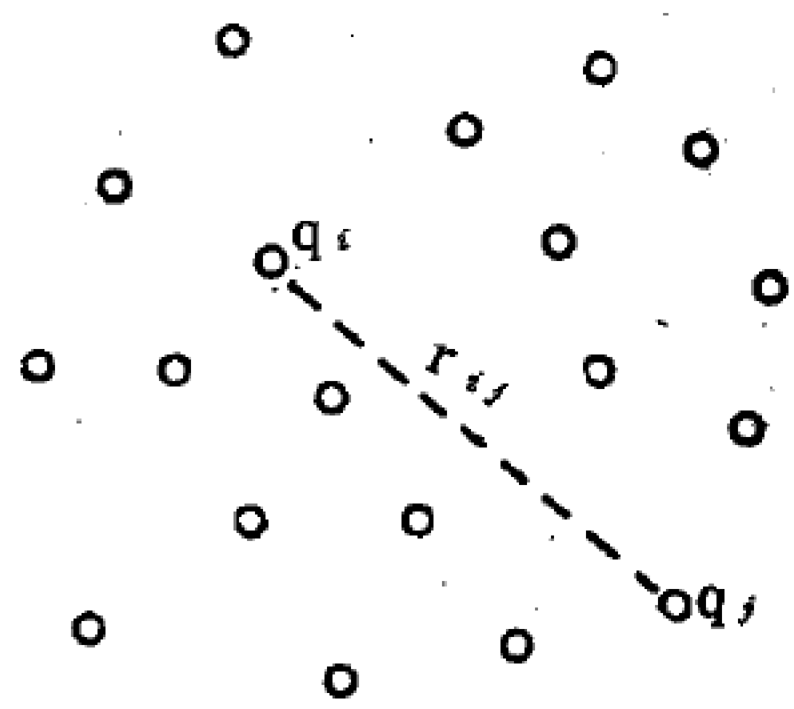


圖 13—306
一質點組的靜電能爲每一對電荷間的靜電能之總和

$$U=\sum_{\substack{\text{所有的}\\\text{電荷對}}}\frac{q_iq_j}{r_{ij}}$$

此式亦可用另一形式表示，即

$$U=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j\neq i}^{N}\frac{q_iq_j}{r_{ij}}$$

$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j\neq i}^{N}$ 的意思是：取 $i=1$，求 $j=2,3,4,\cdots N$ 之和，再取 $i=2$，求 $j=1,2,3,4,\cdots N$ 之和等等；一直取到 $i=N$。這樣的總和內，由於每對電荷都重複算了二次，故前面要加上 $\frac{1}{2}$。

如圖 13—307(*a*) 所示，圖中的正方體每邊長爲 b，每個頂角上有一負電荷 $-e$，正方體中央有一正電荷 $+2e$。將所有的電荷對的位能

相加，如圖 13 — 307(*b*) 所示，則整個系統的位能爲

$$U = 8 \times \frac{-2e^2}{(\sqrt{3}/2)b} + 12\times\frac{e^2}{b} + 12\times\frac{e^2}{\sqrt{2}b} + 4\times\frac{e^2}{\sqrt{3}b}$$

$$= \frac{4.32\,e^2}{b}$$

位能是正的，表示必須作功才能將它們排列成這種形狀。假若這個結合體中每個粒子都向外飛散（不管是一個一個先後飛散，或是一下子同時飛散）後，它們的總動能就等於U。

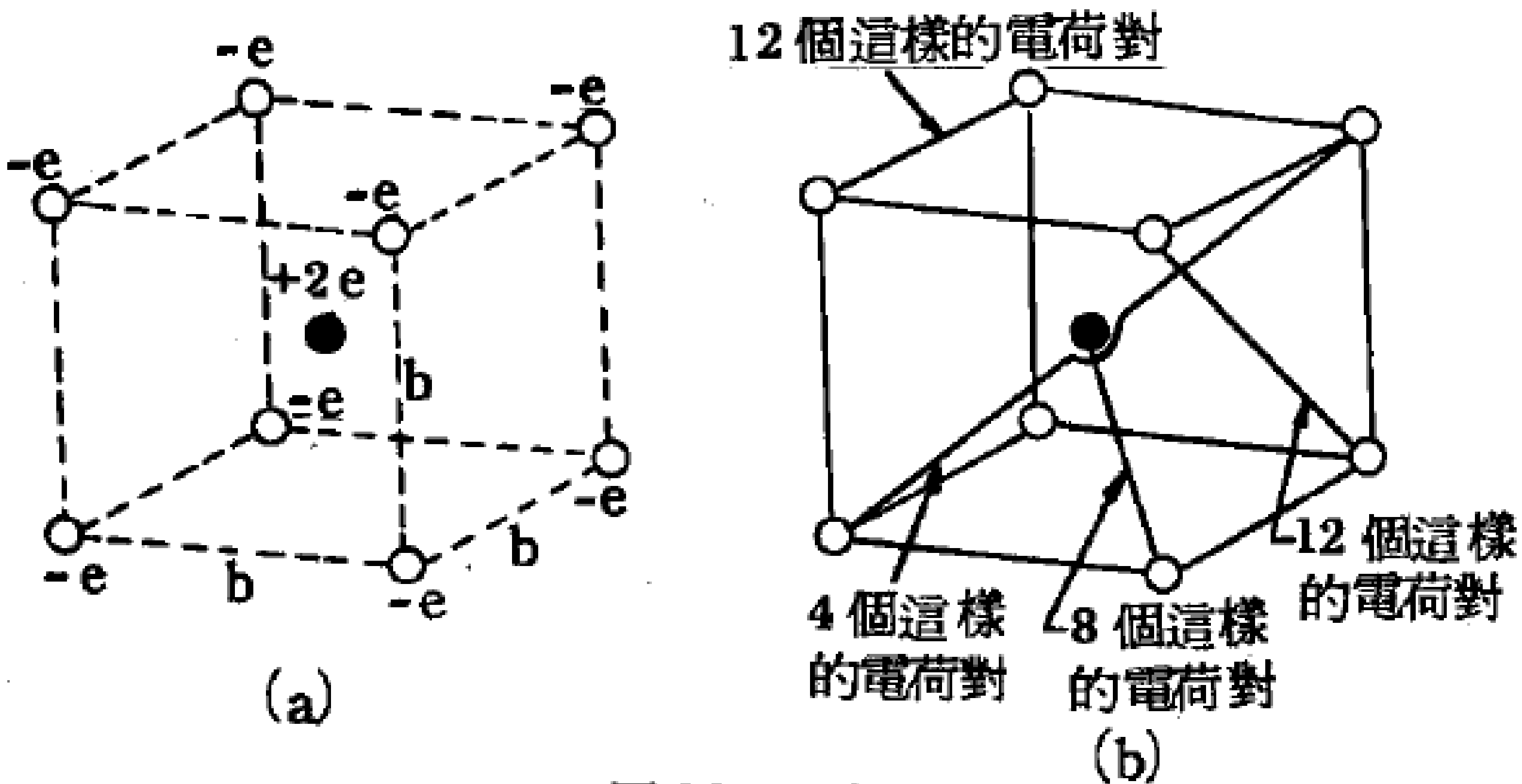


圖 13 — 307
由九個電荷所組成之特殊系統的靜電能的計算法

我們假想將一層層無窮薄的球殼堆成一個實心球體。在這個過程的每個階段，我們將少量的電荷放到半徑從 r 到 $r+dr$ 的薄殼上，如圖 13 — 308，一直堆到球體半徑爲 a。若 Q_r 爲球體半徑是 r 時的電荷，則再堆 dQ 到此球體上所需的功爲

$$dU = \frac{Q_r\,dQ}{r}$$

若球體內的電荷密度爲 ρ，則 $Q_r = \frac{4}{3}\pi r^3\rho$，$dQ = 4\pi r^2\rho\,dr$，故

$$dU = \frac{16}{3}\pi^2\rho^2 r^4 dr$$

將此球體由半徑 0 堆到 a 所需之總能量爲

$$U = \pi^2\int_0^a \frac{16}{3}\rho^2 r^4 dr$$

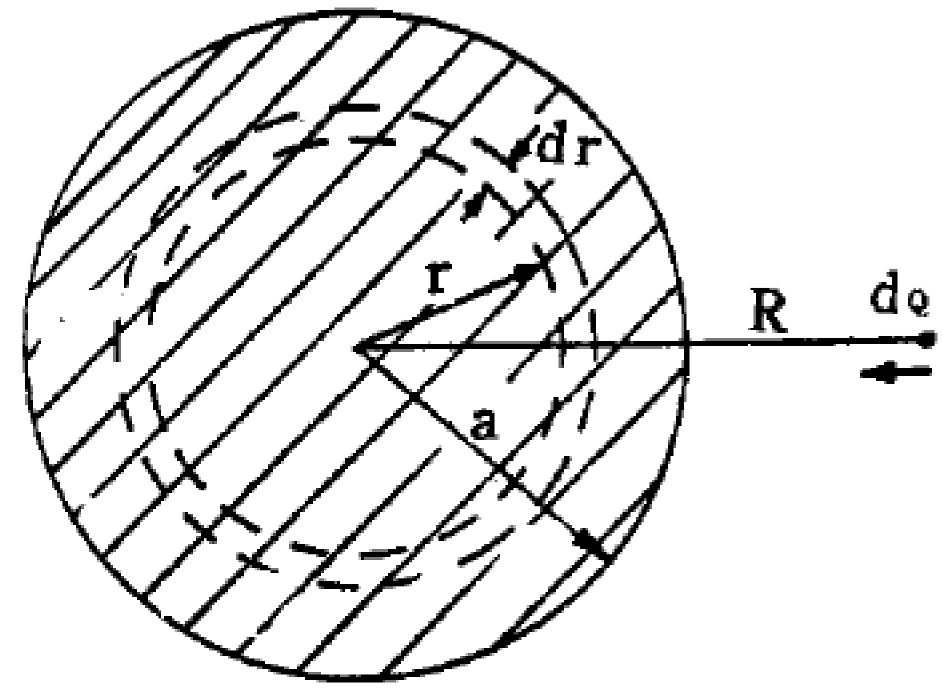


圖 13 — 308
一均勻電荷分佈的帶電球的靜電能計算法。

$$= \frac{16}{15}\pi^2 a^5 \rho^2 = \frac{3}{5}\frac{Q^2}{a}$$

Q是球體半徑爲a時的總電荷。

【電荷守恆】(Conservation of charge)

電荷的重要特性之一，在一孤立系(*isolated system*)中所發生的任何過程中，其淨電荷不變，卽總電荷永遠守恆。所謂孤立的意思是指沒有任何物質通過這系統的周界。嚴格地說，有光線進出的系統不能算是孤立的。不過由於光不帶電，故若有光通過這系統，上述原理仍不受影響。例如用γ線(*gamma rays*)照射一只盒子，盒子內可能會有偶對產生(*pair production*)的情況發生，但所產生的二個帶電體其總電荷仍爲零(圖13—309)。我們稱之爲電荷守恆。

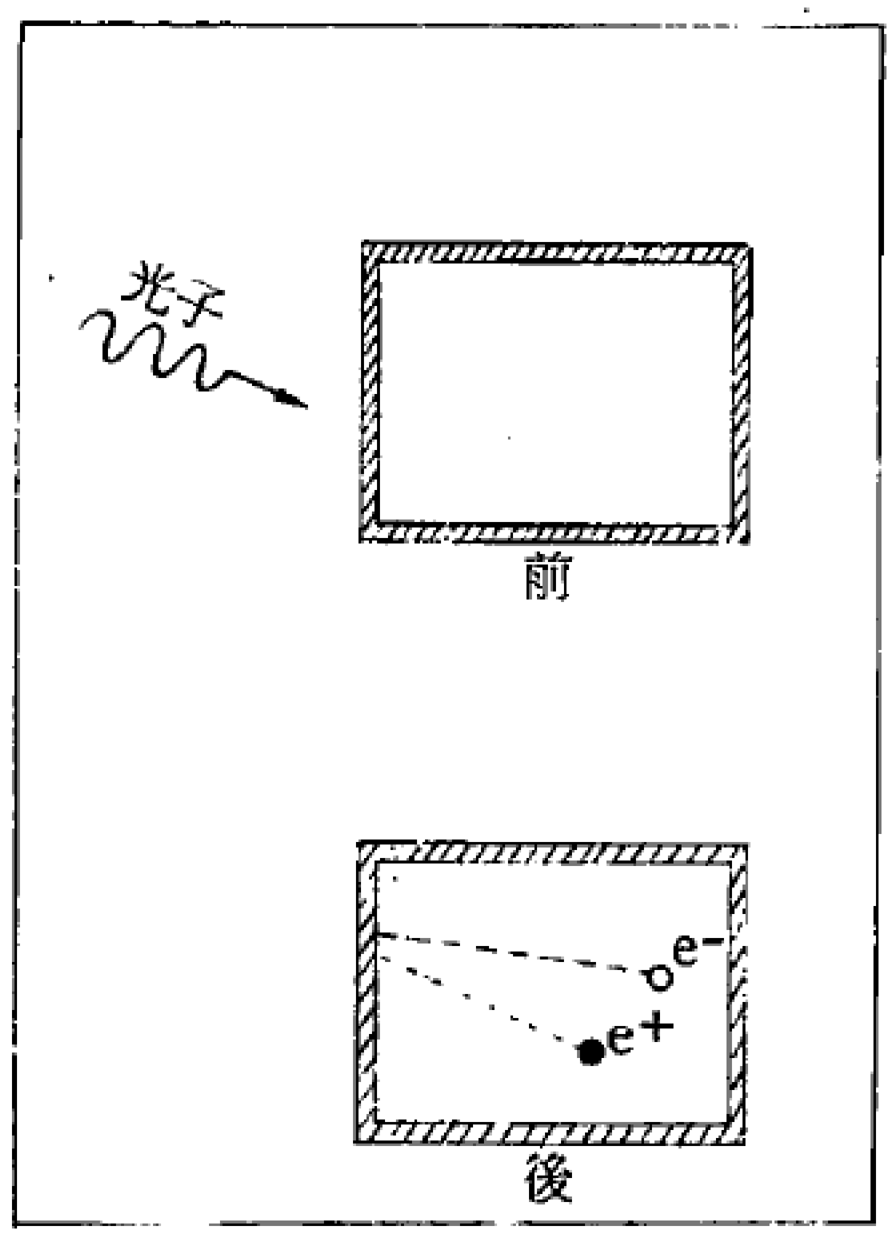


圖13—309
帶電粒子的偶對產生

當然，假如正負電子上的電荷要是不相等的話，偶對產生的結果仍然會違反電荷守恆定律的。但所有的實驗都證實了它們所帶電荷的大小是相等的。

當以絲絹擦玻璃棒時，棒上出現正電荷，由量度顯示絲絹上也有大小相等的負電荷出現。由此可知摩擦並未創造電荷，僅將電荷自一物體轉移至另一物體，稍微破壞各物體的電中性。

當一電子(電荷＝$-e$)與一正電子(電荷＝$+e$)相互靠近，此二粒子卽消失，按照$E=mc^2$關係其所有靜止質量變成能量。能量以方向相反之二γ射線的形式出現，γ射線與X射線相似。在事件前後淨電荷均爲零，故電荷守恆。

在放射性蛻變中可發現電荷守恆

$$^{238}U \rightarrow {}^{234}Th + {}^{4}He$$

放射性原子核 ^{238}U 其原子序 Z 爲 92， 自然蛻變時發射一 α 粒子（^{4}He，$Z = 2$），本身變爲 ^{234}Th 原子核，$Z = 90$。 故在蛻變前之電荷（$+92e$）與蛻變後之電荷相等。

在原子核反應中亦可發現電荷守恆以廻轉加速器加速之質子轟擊 ^{44}Ca，在特定之碰撞中原子核吸收質子放出中子，^{44}Sc 爲剩餘原子核：

$$^{44}Ca + p \rightarrow {}^{44}Sc + n$$

反應前原子序的和（20 + 1）恰等於反應後原子序的和（21 + 0）。

在基本粒子方面，由反應

$$p^{+} + p^{+} \rightarrow p^{+} + p^{+} + p^{+} + p^{-}$$

之式中左端總電荷爲質子之兩倍（即是 $+2e$），而在右端三質子提供三倍質子電荷，反質子提供一負質子電荷，是以總電荷 $+3e - e = +2e$，恰等於二質子電荷。

某些粒子之衰變過程，也同樣的遵守電荷守恆原理。譬如 β 衰變過程

$$n \rightarrow p^{+} + e^{-} + \bar{\nu}$$

$$p^{+} \rightarrow n + e^{+} + \nu$$

μ 輕子衰變

$$\mu^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu + \bar{\nu}$$

以及 π 介子之衰變

$$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu$$

我們可察知，這些反應均遵守電荷守恆原理，因微中子 ν 及反微中子 $\bar{\nu}$ 爲不帶電之粒子。

【電荷守恆原理】（Principle of conservation of charge）

在自然界所觀察到的一切過程中，一孤立系統中之淨電荷恆爲一常數。換言之，一孤立系統中所發生的任何過程，其淨（總）電荷不變。上

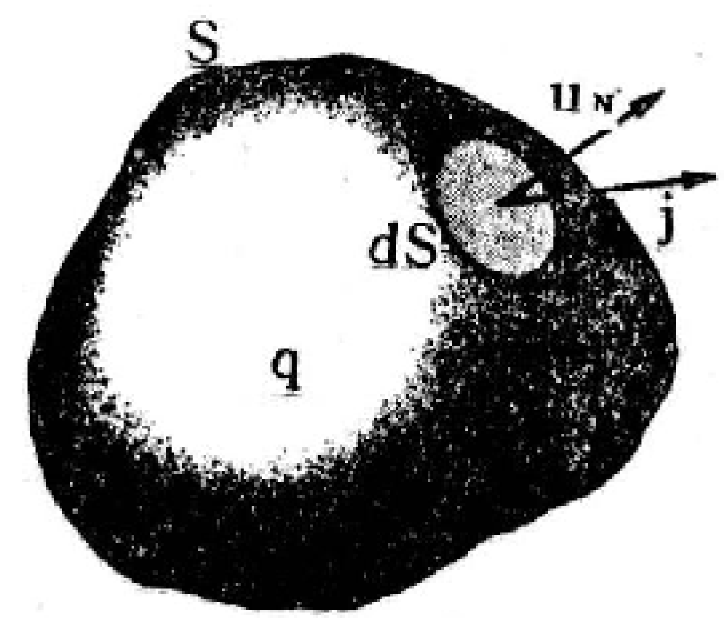


圖 13 — 310
通過包圍電荷q之
封閉表面的電流。

述之法則尚未發現任何例外，故可稱之爲電荷守恆原理。此一敍述可以用一個非常有用的定量的方法來表示之，玆考慮一個封閉表面 S（圖 13 — 310 ），並以 q 表示在某已知時刻在此表面內之淨電荷。自由電荷（如金屬中之電子或電漿中之離子）通過介質而穿出表面 S；在某些時刻，流出的電荷可能比流入的多，結果使得表面 S 內之淨電荷 q 減少；在另一些時刻，情況可能反過來，流入的電荷比流出的多，結果使得淨電荷 q 增加。當然，如果從 S 流出與流入的電通量相同，則淨電荷 q 保持不變。電荷守恆原理所需要的條件爲

電荷漏失量＝（流出電荷通量）－（流入電荷通量）
＝淨流出電荷通量

而單位時間內從封閉表面 S 之淨流電荷通量表示單位時間內從表面通過之淨電荷量（即通過表面之淨電流）。另一方面，封閉表面 S 內在單位時間內之電荷漏失爲 $-dq/dt$；因此用數學表示時

$$-\frac{dq}{dt} = I_{CS} \qquad (1)$$

式中之腳註 CS 是用來強調封閉表面（ *closed surface* ）的。上式是表示在“電荷不能創造也不能毀滅”的假定情況下的電荷守恆原理。根據電場之高斯定律，封閉表面內之淨電荷可以用表面上之電場表示爲

$$q = \epsilon_0 \oint_S \vec{E} \cdot \vec{u}_N \, dS$$

因此

$$\frac{dq}{dt} = \epsilon_0 \frac{d}{dt} \oint_S \vec{E} \cdot \vec{u}_N \, dS$$

將此結果代入（ 1 ）式，我們得到

$$I_{CS} + \epsilon_0 \frac{d}{dt} \oint_S \vec{E} \cdot \vec{u_N} \, dS = 0$$

來表示電荷守恆原理與高斯定律連繫在一起，當電場爲靜態時，$\oint_S \vec{E} \cdot \vec{u_N} dS$ 之積分與時間無關，因此其對時間之導數爲 0，於是

$$I_{CS} = 0$$

這是表示對靜電場而言，在空間任何區域，既無電荷之聚積，也無電荷之漏失，而通過封閉表面之淨電流爲零。

【電荷共軛】(Charge conjugation)

由於反粒子的存在，可以定義一種轉換過程，將粒子與反粒子互相變換。這種轉換的運作，稱爲電荷共軛，通常以 C 代表。

γ、π^0、η^0 等粒子態，相當於這些狀態有一些態向量，由於這些粒子的反粒子就是它們本身，因此，這些態向量在經過電荷共軛的變換後，僅可能差一個符號。由於態向量的相位是沒有關係的，所以本來可以差一個相位；不過經 C 轉移兩次後一定要回原狀，因此這個相位差只可是 ±1 。這個 +1 或 −1 也只一個新的量子數，稱爲電荷共軛量子數，它的數值可以由實驗求出來。右表爲一些粒子的 C 量子數值。

一些基本粒子的電荷共軛量子數

粒子名稱	C
γ	−1
π^0	+1
η^0	+1
e^0	−1
ω^0	−1
ϕ^0	−1

電荷共軛量子數除了可被定義在一個粒子態外，還可被定義在一群粒子的狀態，只要這一羣粒子在經過電荷共軛轉換後變回原狀就行了。例如，一個包括 π^+ 與 π^- 的粒子組，在經過 C 變換後，還是 π^+ 與 π^- 。對於這樣的粒子組，其總狀態向量經 C 變換後，也只能差一個 +1 或 −1 的因數，這因數可算是這個粒子組的電荷共軛量子數。量子數與粒子組內各粒子間的空間排列情形非常有關。

【電荷共軛不變性】(Charge conjugation invariance)

電荷共軛對稱就是將粒子換為反粒子而物理定律的形式不變。它和時間與空間的反置發生關係，因為在量子場論裏，一個反粒子可以被認為是一個粒子逆時間方向而運動。電荷共軛的對稱性在1964年以前，是被強交互作用和電磁交互作用所保有，而被弱交互作用所破壞（從微子的左手性和反微子的右手性就可以看出）。在1964年以前，一般的物理學家們並同意，T的對稱是絕對地眞的；而根據C.P.T.定理（C是空間反置不變性，P是電荷共軛不變性，T是時間轉向不變性），CP合起來的對稱也是絕對地眞的。正如圖13—311所示。如果我們將在鏡中粒子改為其反粒子，則因為$\bar{\nu}_\mu$是右手性的緣故，所以以前的反對的理由，到此就不再成立。而事實上，經過CP變換後的過程，的確是存在的。

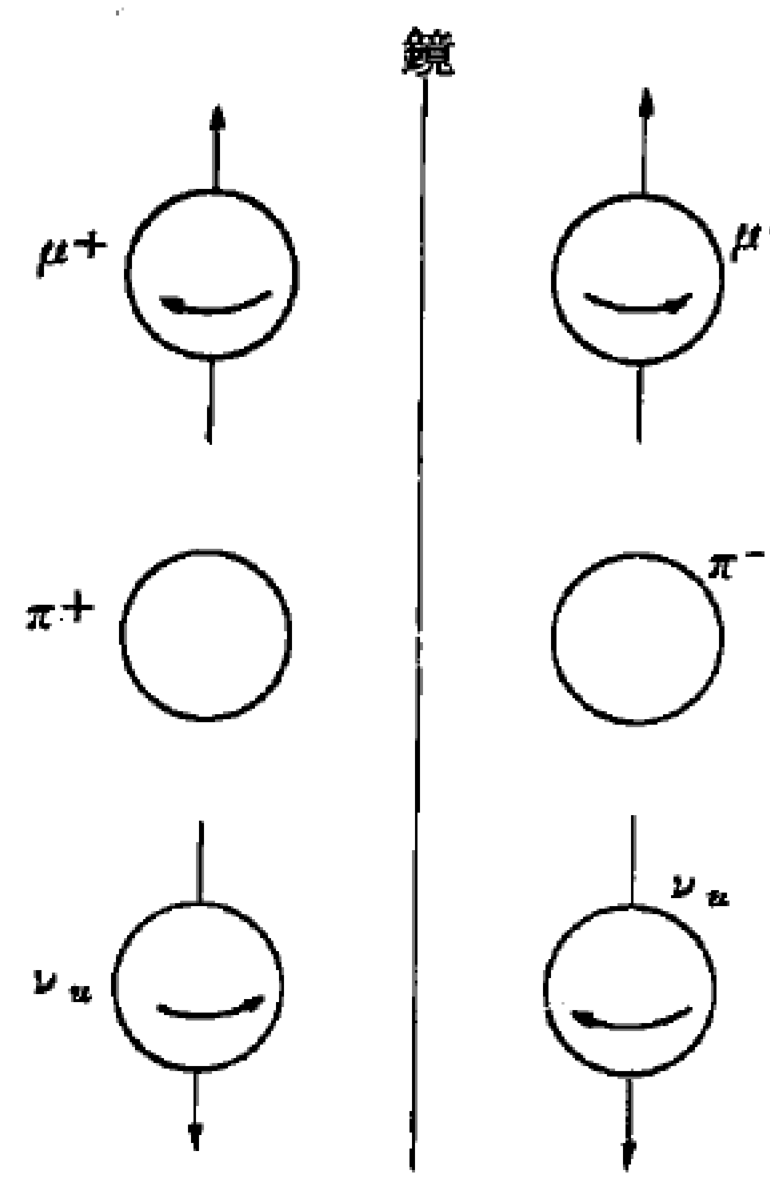


圖13—311
CP連合的對稱與π衰變

由於弱交互作用守恆CP而不單獨守恆C，而又因為K^0和$\bar{K}^0$的質量完全相同，故在K^0衰變時，往往會和$\bar{K}^0$混在一起，而成為二個CP確定的態。這二個態我們稱它為K_1和K_2。它們和$K^0\ \bar{K}^0$的關係是：

$$K_1=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(K^0+\bar{K}^0\right)$$

$$K_2=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(K^0-\bar{K}^0\right)$$

$$\bar{K}^0=CPK^0$$

因此 $CPK_1=K_1 \qquad CPK_2=-K_2$

當然，K_1和K_2沒有確定的奇異性，可是在弱交互作用的時候奇異性根

本就不守恆。大致說來，K_1 的半生命期遠短於K_2。故一條由強交互作用產生的K^0 射束在經過一段時間後，就幾乎全成爲K_2。 又當衰變至π 介子時，K_1 主要衰變至二個π 介子，而K_2一定不能衰變至二個π 介子。這是因爲兩個π 介子的態其CP值一定是＋1。

1964 年美國普林斯頓大學的物理學家們，主要是克利斯丁生（*J. H. Christenson*）等，在布魯海芬國家研究所的*A.G.S*.加速器，做了一個很精密的實驗，證實了K_2也會衰變至兩個π 介子。其和K_2其他衰變形式的比約爲2×10^{-3}。 這個數目雖然小，但是已經足以破壞CP的守恆。從 1964 年到現在，在經過一番理論和實驗的探索後，一般人都承認CP守恆並不是一條普遍地眞的定律。然而由於這個反應過程不僅只牽涉到弱交互作用，所以現在還沒有確定到底是那一種交互作用在破壞CP的守恆（也因此破壞T的守恆）。現在甚至有人懷疑C（或P或T）這個變換用在強交互作用、電磁交互作用和弱交互作用的時候，到底是不是一個同樣的變換。

【電荷共軛空間時間反轉定理】（C.P.T. theorem）

將一個粒子換成它的反粒子稱爲電荷共軛（*charge conjugation*），用C來代表。若代表某一量子態的波函數經過電荷共軛後與原來波函數只差一正或負號，則稱此量子態的電荷共軛性（也用C代表）爲＋1或－1。例如$C(\nu)=-1$，$C(\pi^0)=+1$。1956 年楊振寧和李政道將電荷共軛和在同位空間中對y軸作$180°$ 的旋轉合併一起，用G代表，即$G=e^{-i\pi I_y}C$。如一量子態經過G變換之後只差正號或負號，則它的宇稱性（*G-parity*）爲＋1或－1。例如$G(\pi^{\pm})=-1$，$G(\pi^0)=-1$。空間反轉（*space inversion*）用P代表，所有空間坐標均變號，若波函數經P後只差正號或負號，則此量子態的宇稱性爲＋1或－1。基本粒子本身的宇稱性又名內稟宇稱（*intrinsic parity*）。 費子的內稟宇稱與它的反粒子相反，波子則相同。時間反

轉（*time reversal* 或 *time inversion*）用T代表。在李政道和楊振寧於 1956 年發現在弱作用中宇稱性不守恆之前，一般認爲電荷共軛不變性（*C invariance*）、宇稱不變性（*P invariance*）或宇稱守恆（*conservation of parity*）及時間反轉不變性（*T invariance*）是自明的眞理，但沒有理論做根據。這三種不變性的物理意義是粒子和反粒子的區別、左右的分別、時間流動的方向三者都無法鑑定，也就是說如在另一與我們完全分離的宇宙裏，若它的粒子是我們的反粒子，或者它的左是我們的右，或者它的時間流動方向與我們的相反，它的一切物理現象和我們完全一樣。在量子場論中可證明即使C、P、T個別的不變性不成立，它們綜合起來（次序可以顚倒）的不變性仍成立，這就是電荷共軛空間時間反轉定理，又稱*C.P.T.*不變性（*C.P.T. invariance*）。由這定理可證明粒子和反粒子的質量和半衰期應相同，這與實驗相符。由T不變性可證明$A+B\rightarrow C+D$和$C+D\rightarrow A+B$兩個散射過程的非偏振微分截面之比，當在質心系統中有相同的總能量和散射角時，等於

$$\frac{(2J_C+1)(2J_D+1)}{(2J_A+1)(2J_B+1)}$$

J_A代表A的自旋。這是細微平衡原理（*principle of detailed balancing*）。1956年由實驗發現有兩種介子（當時稱爲τ介子和θ介子）質量和半衰期完全相同，但它們經弱交互作用衰變後的量子態的宇稱相反，即

$$\tau^+\rightarrow\pi^++\pi^-+\pi^+\qquad\theta^+\rightarrow\pi^++\pi$$

由宇稱守恆律推知它們本身的宇稱性也相反，因此不可能是同一種粒子，這是$\tau-\theta$佯謬（*tau-theta paradox*），後來由李政道和楊振寧解決。θ和τ現在均稱爲K^+介子，宇稱性爲-1。1964年在K^0介子的衰變過程中發現有極少量的CP違反。由CP不變性推出K^0爲各佔50％的兩種量子態所組成，CP爲$+1$的量子態，衰變爲$\pi^+\pi^-$

或$\pi^0\pi^0$；CP為－1 的量子態則不能衰變成2π，因而半衰期較長。但實驗結果是K^0 乃兩個量子態（K_L 和K_S）所組成（約各佔50％），K_S 衰變爲$\pi^+\pi^-$ 或$\pi^0\pi^0$（$CP=+1$），半衰期較K_L 約短100倍。K_L 衰變後的各種量子態中，絕大部分是$CP=-1$，但有少部分（約0.157％）是2π。他們的實驗結果尚無滿意解釋。吳爾芙斯蒂（*Wolfenstein*）曾提出超弱交互作用（*superweak interaction*）的假說，認爲還有一種比弱交互作用更弱的交互作用存在，李政道曾假設電荷共軛不變性對電磁交互作用而言不成立，但均無法證實。第一個證實宇稱性違反的實驗，在 1956 年年底由吳健雄領導下完成，她在偏振核的貝他衰變（*beta decay of polarized nuclei*）中發現一般相信的宇稱不變性在弱衰變時不成立，所用的核是鈷 - 60：$^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni + e + \bar{\nu}_e$。實驗時將鈷冷至絕對溫度$1°K$ 左右，以減少分子的運動，再用磁場將鈷核的自旋沿磁場方向排列。如宇稱不變性在弱交互作用中成立，則當量度由衰變放出的電子方向時，相對於鈷核自旋方向的一方的電子數目應和另一方一樣多。實驗結果如圖 13－312 所示。

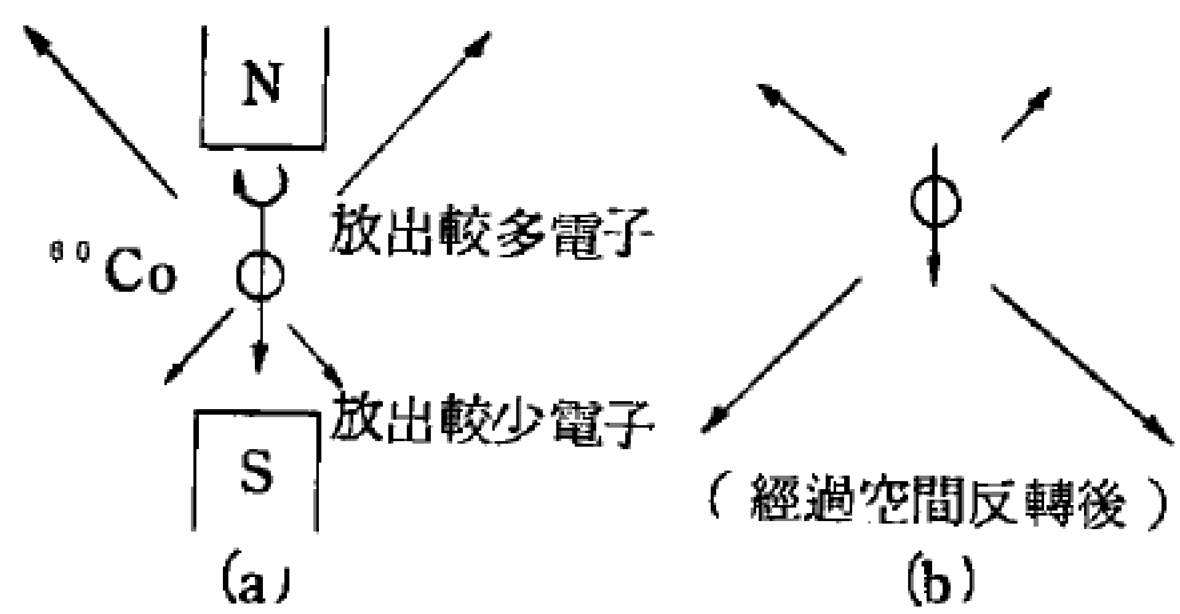


圖 13－312
鈷 - 60之貝他衰變。箭頭之長短代表放出電子之多寡。

【電荷密度】（Charge density）

若在導線中有一安培的穩定電流，在一秒鐘內流過導線某截面之電荷量爲一庫倫，即爲電荷單位。在導體的尖銳部分其電荷密度較圓鈍部分爲大。電荷密度與電場強度成正比，即$J=\dfrac{Q}{A}=\epsilon E$。式中$\epsilon$ 稱爲介電係數。在眞空中其值爲8.864×10^{-14} 庫倫/伏特厘米。而電荷Q 係以庫倫表之，A為平方厘米，電場強度E則以伏特/厘米表示。

【電荷單位】(Charge unit)

一帶電物體若以 1 達因之力，排斥另一符號相同、電量相等而與之相距 1 厘米之帶電物體時，則其所帶電荷爲一電荷單位。

此種電荷單位稱爲$C.G.S.$靜電單位（簡寫爲$L.E.$）。在實用量度制中，電荷之單位稱爲 1 庫倫。此二單位有如下之關係：

$$1 \text{庫倫} = 3 \times 10^{9} \text{靜電單位}$$

【電荷轉移複合物】(Charge transfer complex)

陰電性強的分子（D，施素）常可將一電子授予另一分子（A，受素）而生成$D^{+}-A^{-}$形式的複合物。例如苦味酸爲一極強之電子施素，可與許多芳香族分子及胺類分子結合成複合物。此等複合物皆有紅至黑不等極深之彩色，乃因電子吸收低能量之光卽可由A躍遷至D分子，此種躍遷稱爲電荷轉移躍遷，而此種複合物稱爲電荷轉移複合物。

在金屬離子與陰性基團生成錯離子（MLx^{+n}）時，電子由M躍遷至L上或由L躍遷至M上均呈現極強之吸收光譜，亦稱爲電荷轉移躍遷。

【電動力揚聲器】(Electrodynamic loud-speaker)

電動力揚聲器的構造和電動微音器頗爲相似。事實上，永久磁鐵式揚聲器在對講通信系統中可兼作揚聲器和微音器用。

圖 13 — 313 所示是永久磁鐵電動力揚聲器和電磁鐵電動力揚聲器的剖面圖。這兩種的構造，除產生磁場方法不同

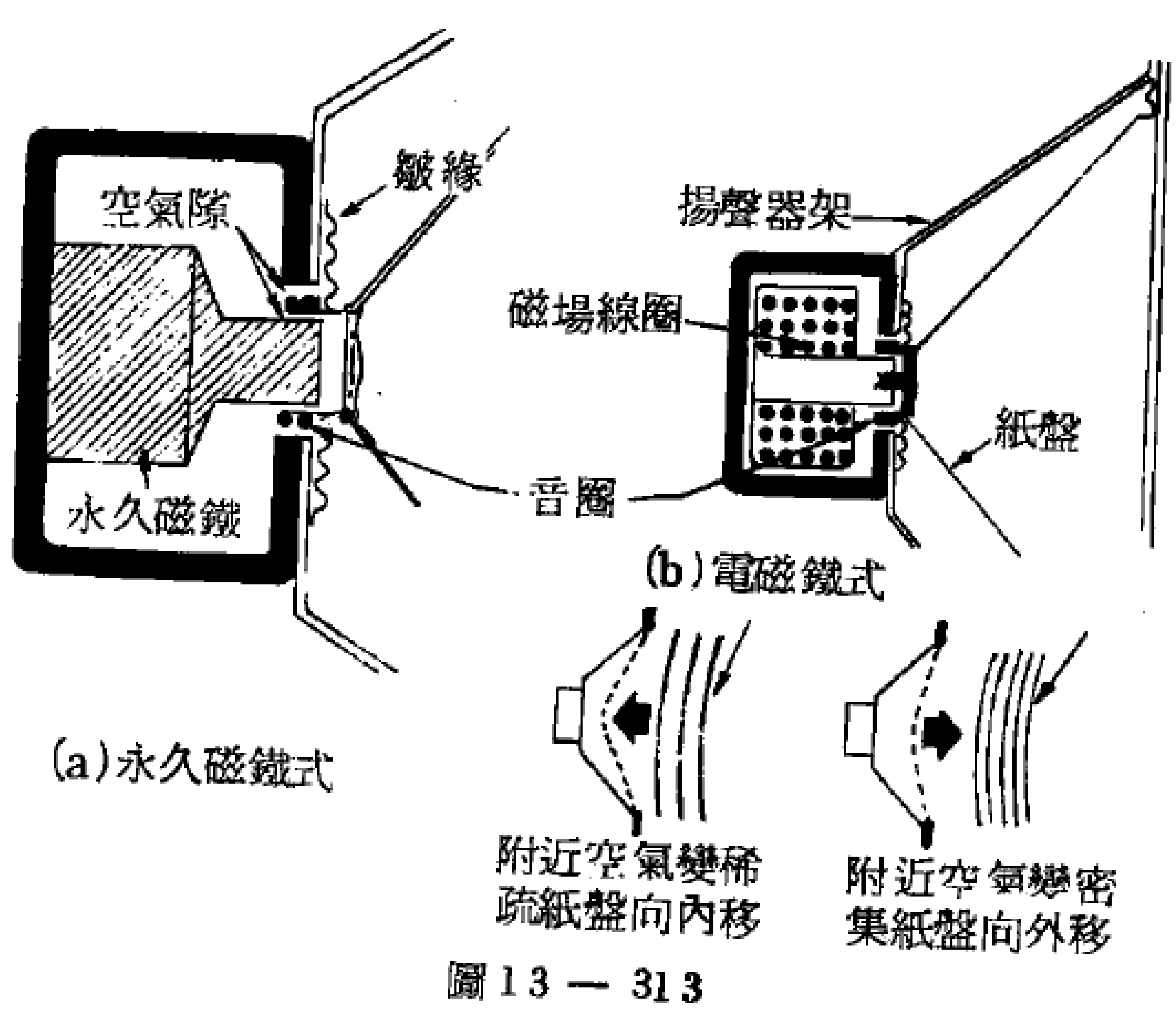


圖 13 — 313

外，其餘均相同。電磁鐵式的磁場是用線圈繞在軟鐵芯上，當有直流電流通過時，在其空隙間產生一強大的磁場。永久磁鐵式的磁場是由鋁鎳鈷合金製成的強力永久磁鐵產生的。磁場空隙中有一與錐形紙盤相連而圈數很少的線圈，這線圈就是音圈。錐形紙盤和音圈裝置處都壓成皺紋波，再固定於支架上，紙盤之所以壓皺，目的在使其富有彈性而能自由振動。

放大器經輸出變壓器連接至音圈上。變壓器作阻抗匹配用。當交流聲頻信號流經音圈時，即產生極性連續變化的磁場，當音圈所生磁場的極性和空隙間固定磁場相加時，音圈和紙盤即被拉引而後移，紙盤前面的空氣壓力即被減少。反之，當音圈所生的磁場抵銷空隙間磁場時，音圈和紙盤即被推出，紙盤前面的空氣即被壓縮。在這種情況下，聲頻信號電流即變成聲音的壓力波。

【電動力學】(Electrodynamics)

乃研究電磁場的變化、電荷的運動以及一般有關物理現象之科學。

【電動不穩性】(Dynamic instability)

供給振盪管之工作電壓，如有任何變動時，即能影響工作的特性，嚴重的可以影響輸出的頻率發生改變，故發射機的電源供給特別注重穩定性。

【電動特性】(Dynamic characteristics)

電子管的放大因數、屏阻、互導及檢波等種種特性之總稱。

【電動傳聲器】(Dynamic microphone)

電動傳聲器或稱動圈式微音器，根據線圈在磁場中割切力線產生電壓的原理，把一只與薄膜片密接的線圈，浮懸在一強磁場的空隙中而成，如圖 13 — 314 所示。磁場係用永久磁鐵產生，當聲波擊動薄膜片，它和線圈一併前後振動。由於線圈在磁場中間振動，可感應一交流電壓，此電壓和擊動薄膜片的聲波變化相同。

感應的交流電壓頻率和聲波頻率相同，電壓振幅則和聲波的空氣壓力或強度成正比。

電動傳聲器的輸出送至變壓器，使它的電壓升高，並產生高阻抗輸出，俾能直接連接至放大器的柵極。這種電動傳聲器在使用時，不論操縱或移動均不會使輸出產生雜音，所以工作可靠，且又不需要直流供電，頻率響應亦非常好，其範圍約自20至9,000赫茲。

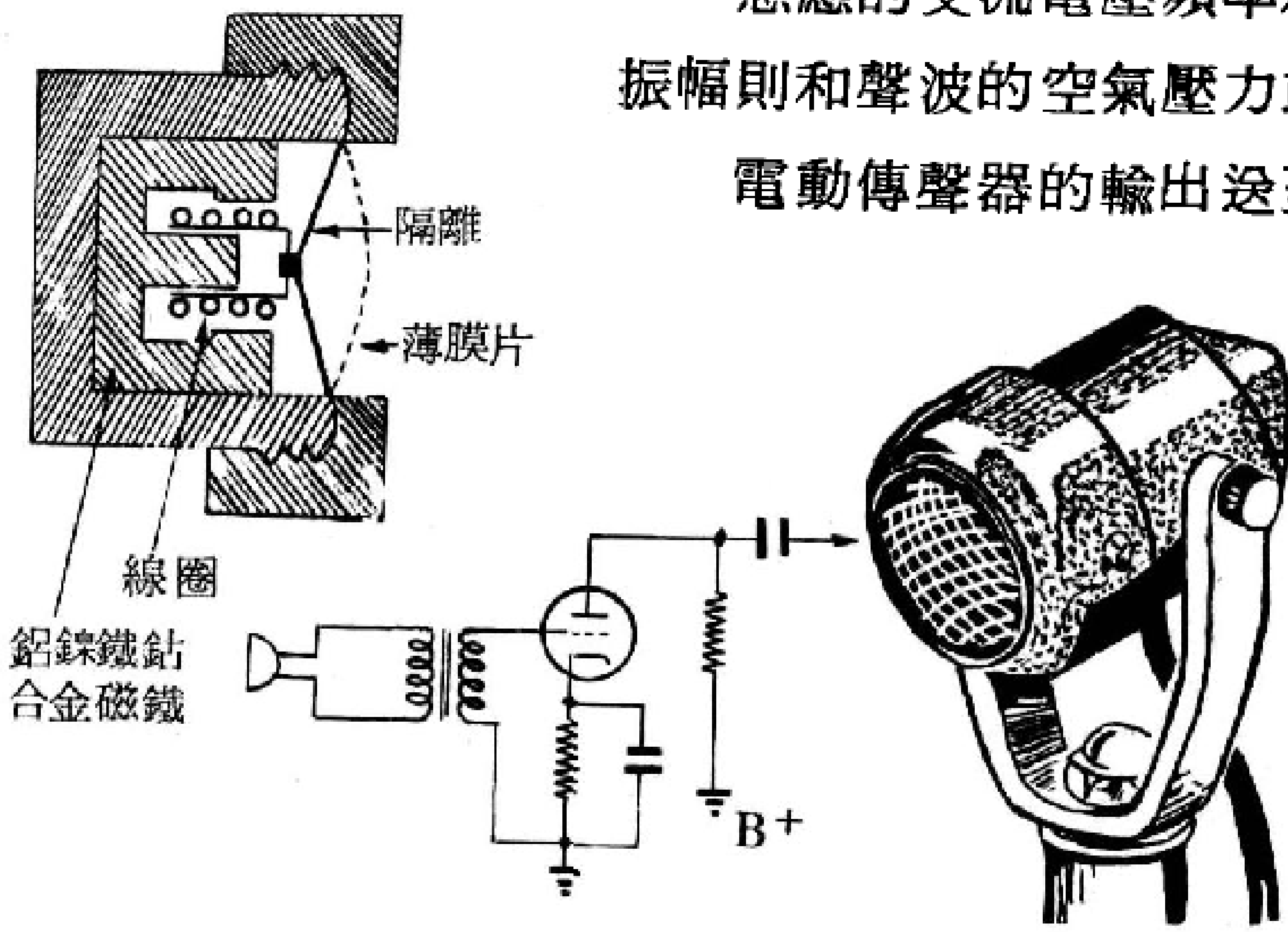


圖 13—314　電動傳聲器

【電動發電機】(Motor-generator)

詳閱"電動機 (*Electric motor*) "條。

【電動勢】(Electromotive force ; e.m.f.)

符號爲E、e、V、v、ε 等。電場中某路程的電動勢等於電場強度沿該路程的線積分值，因此亦等於電場中沿該路程推送單位電荷所作的功，即

$$\text{單位電荷沿路徑}\ L\ \text{所作的功} = \int_L \vec{E}\cdot d\vec{l}$$

假如路徑爲一封閉者 (如圖 13—315)，線積分即爲電場的環積分。此線積分謂之爲加於封閉路徑的電動勢。以V_ε 代表$e.m.f.$，得

$$e.m.f. = V_\varepsilon = \oint_L \vec{E}\cdot d\vec{l}$$

所以沿一封閉路徑的電動勢等於環繞該路徑移動一單位電荷所作的功。如介質均勻，則電動勢與路程無關 (因靜電場爲保守場)，只是路程端點的函數。此時，與兩點間的電位差同義。

電池對每一個基本電荷所供給的能量，稱爲此電池的電動勢，常以

ε 表示之。同一電池的 e.m.f. 爲定值，與電池內兩極板距離，面積及通過電流的大小無關。數個電池串聯於電路中，其總電動勢爲各電池電動勢的代數和。

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \cdots\cdots$$

電位差爲兩點間電位之差。在一電路中可只有電動勢而無電位差，其電流仍流通，但無電動勢卽無電位差。電位差是由電動勢所賦予的。

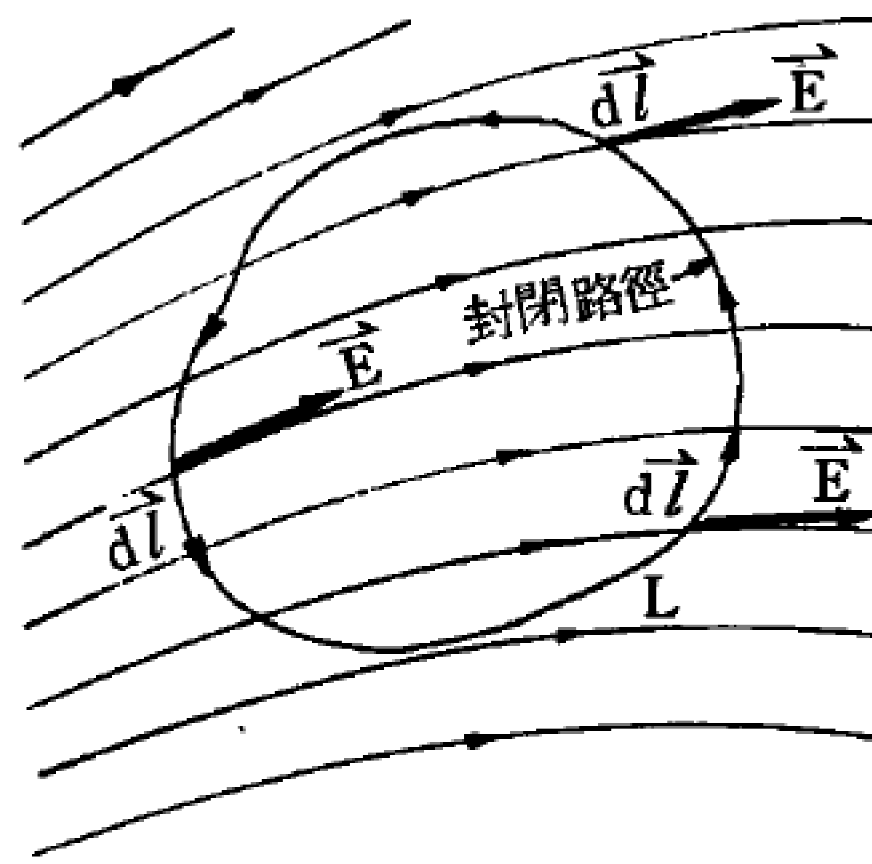


圖 13—315

【電動機】(Electric motor)

電動機亦稱馬達，把電能轉換爲機械能的機械。利用電動機可以把發電機所發出的大量電能，應用到生產事業中去。構造和發電機基本上一樣，原理正相反，電動機是通電於轉子線圈以引起運動，而發電機則是藉轉子在磁場中之運動產生電流。爲獲得強大的磁場起見，不論電動機還是發電機，都以使用電磁鐵爲宜。

如圖 13—316 所示的簡單電動機，主要是由一個產生磁場的磁鐵（卽定子），和一個在磁場中轉動的轉子構成的。當把電流通入電動機的定子繞組，轉子上的線圈受到磁場的作用就轉動起來。由佛萊銘左手定則就可知道它轉動的方向。

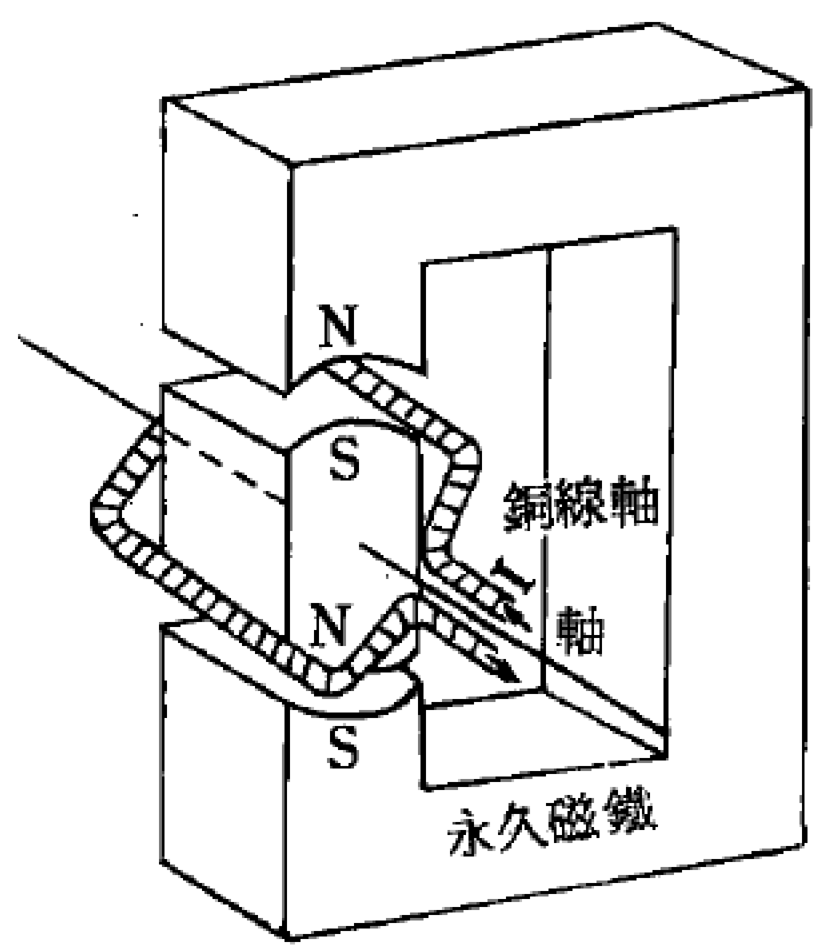


圖13—316 簡單電動機

電動機因輸入的電流不同，可分爲直流電動機與交流電動機：

1. 直流電動機（*direct current motor*）—— 用直流電流來轉動的電動機叫直流電動機。因磁場電路與電樞電路連結之方式不同，又

可分爲串激電動機（*series motor*）、分激電動機（*shunt motor*）、複激電動機（*compound motor*）。

2.交流電動機（*alternate current motor*）——用交流電流來轉動的電動機叫交流電動機。種類較多主要有：

(1)整流電動機（*commutating motor*）——使串激直流發電機，作交流電動機用，即成此種電動機，因交流電在磁場與電樞電路中，係同時轉向，故力偶矩之方向恆保持不變，該機乃轉動不停。此種電動機因兼可使用交、直流，故又稱通用電動機（*universal motor*）。眞空吸塵器、縫紉機及其他家用電器等多裝用此種電動機。

(2)同步電動機（*synchronous motor*）——電樞自一極轉至次一極，恰與通入電流之轉向同期的電動機。此種電動機不能自己開動，必須用另一電動機或特殊輔助繞線使達適當頻率後，始可接通交流電。倘負載改變而致轉速改變時，轉速即與交流電頻率不合，足使其步調紊亂，趨於停止或引起損害。因限制多，故應用不廣。

(3)感應電動機（*induction motor*）——置轉子（*rotor*）於轉動磁場（*rotating magnetic field*）中，因渦電流的作用，使轉子轉動的裝置。

轉動磁場並非以機械方法爲之，乃是以交流電通於數對電磁鐵中，使其磁極性質循環改變，可視同轉動的磁場。通常多採用三相感應電動機（具有三對磁極），電扇馬達多屬此類。

直流電動機之動作恰與直流發電機相反，即其電樞之定向旋轉，由其上方向交變的應電流產生之力偶所形成。交流電動機中的感應電動機，其強大之應電流（渦流）產生於轉動磁場中，磁力線對轉子上銅棒的連續割切，依楞次定律，此應電流有反抗磁場與轉子發生相對運動的效應，故轉子乃隨磁場而轉動。惟此轉子轉動速度，恆不及磁場變換之速，否則磁力線將不能爲銅棒所割切。

電動機的反電動勢——由電動機轉子割切磁力線而產生，其方向與外加電壓相反，故名。設 v 爲外加電壓，e 爲反電動勢，R 爲直流電動機之內電阻，則通過直流電動機之電流：

$$I=\frac{v+(-e)}{R}=\frac{v-e}{R}$$

電動機在開始起動時，反電動勢極小，故通入之電流極大。爲免將轉子燒損，可於電路中串聯一變阻器使電阻漸減，電流漸增，最後達於一正常值。大電動機中之開動器（*starter*）即據此而裝置。

因直流電動機在開始轉動時，反電動勢極小，轉子內有甚大電流，常發出甚強的轉動力，因此電車推動器常用此種直流電動機。

【電動機定則】（**Motor rule**）

參閱"左手定則（*Left-hand rule*）"條。

【電唱機】（**Electric gramophone**）

電唱機包括一個電動機，一個帶著唱片以一定穩定速度轉動的轉盤，一個拾音臂（*tone arm*）以及一個由唱針與拾音管所構成的拾音頭。電動機的作用是帶動轉盤，使其轉動速度與唱片錄製音樂時的速度相同。在不同的負荷（*load*）下維持一定的轉速，電動機本身的聲音必須爲極小。拾音頭可將由唱針摩擦唱片槽紋所得的振動聲，變爲相應的聲頻電波。

電動機及轉盤可引起速度變動及機械失眞，如果電動機的速度不穩定、轉盤不平、唱片的洞不在中心以及唱片變形等，所發的音調都將使人討厭。當轉盤速度太低，則產生低頻率嗚嗚聲，而速度太快，產生高頻率尖叫聲（*flutter*）。如果電動機及推動機件不適當，或電動機與轉盤間安裝不良，將產生低沉的雜音。

通常電動機都是交流感應電動機。早先多採用兩極感應電動機（*two pole induction motor*），但自長時間唱片（*long-playing*

record ）微紋槽（*micro-groove*）的發明後就不能完全適用了。當拾音器越過唱片表面時，有拾起（*pick up*）電動機繞線中嗡嗡聲（*hum*）的趨向；並且微紋槽的輸出很小，放大器的音量控制必須要放大，因而使任何低微的嗡嗡聲亦變得很明顯。近年的唱機電動機多採用四極感應電動機，以增加極數來消除此一缺點，且供給的動力大，速度平穩。在高傳眞系統中，最好是用磁帶同步電動機（*hysteresis-synchronous motor*），由於其速度直接與交流電源的頻率配合，所以轉動非常穩定。

如圖 13—317 ，唱機電動帶動三個軸承襯（*bushing*）。每一個軸承襯的直徑不同，供給唱機三種轉速，即每分鐘 $33\frac{1}{3}$ 轉（*revolution per minute*）、每分鐘45轉及每分鐘78轉。惰輪（*idler wheel*）的橡皮邊由彈簧的壓力與軸承襯相貼緊，同時惰輪的橡皮邊與轉盤的內緣相接觸，而完成這一個傳動系統。

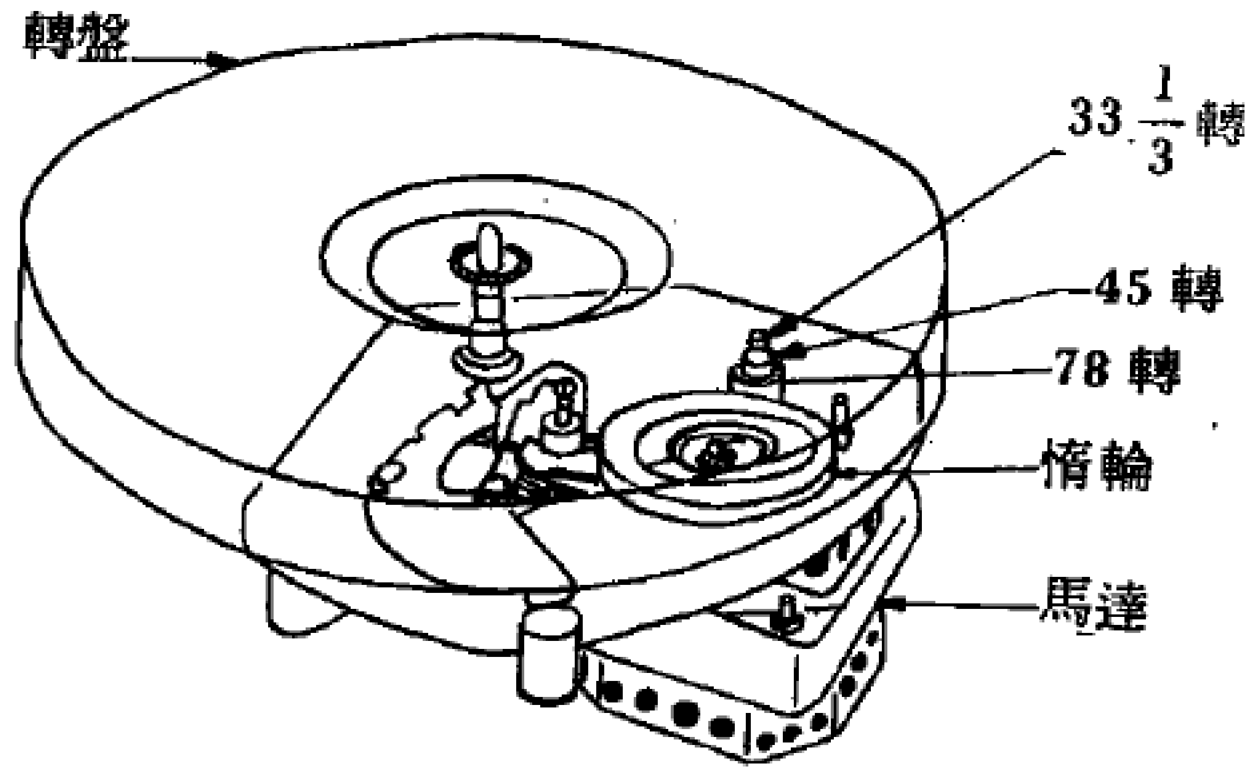


圖 13 — 317 唱機的電動機傳動

電動機的高速轉動，經由軸承襯的傳動變爲所需的適當速度，由惰輪增加轉盤速度的穩定性，而帶動唱片。

一個好的轉盤必須具有下列的特性：

1. 分量重。

2. 轉盤的四周對於轉軸必須是絕對的同心圓。

3. 鑄造而成的比壓製而成的爲佳。

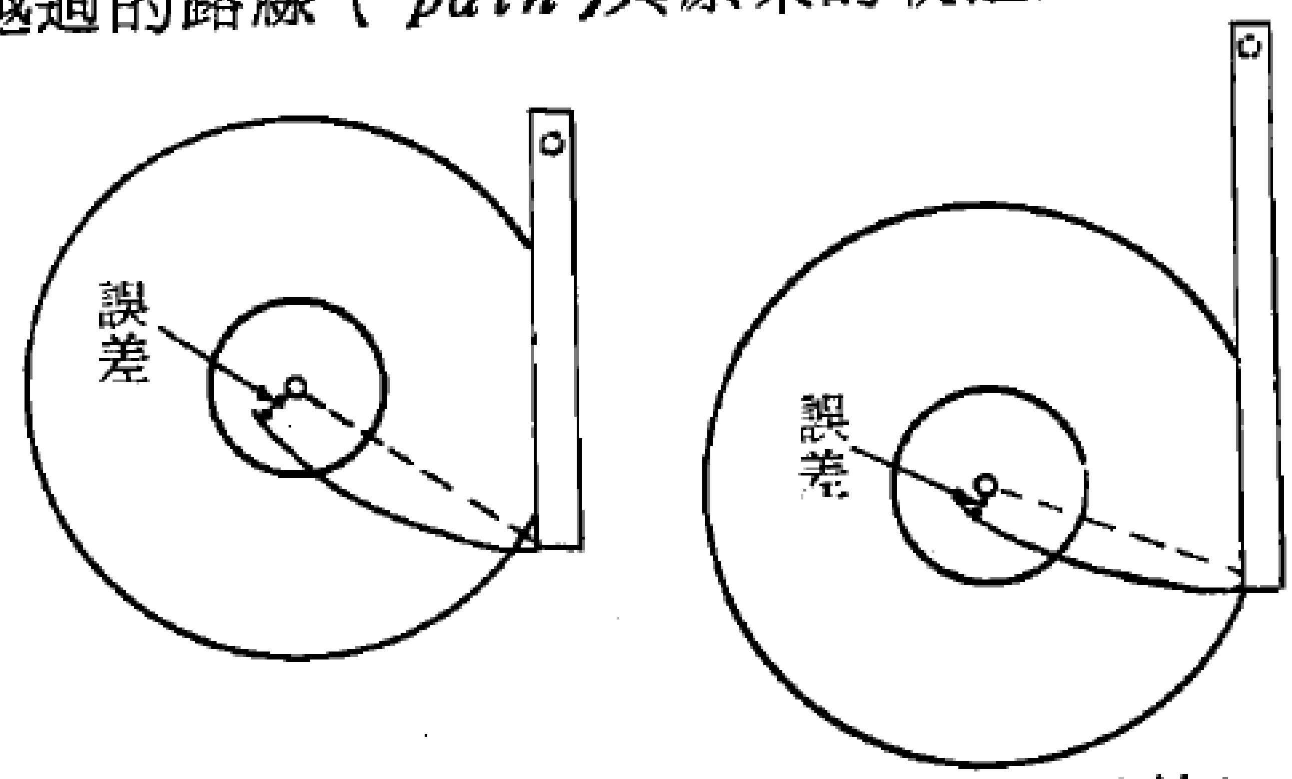
4. 上面承放唱片的表面必須是絕對的平面。

因鋁金屬爲非磁化性金屬，故轉盤用鋁鑄造，且其重量大，可得高傳眞度所需的平穩的轉動。同時轉盤的邊緣很厚，如此可具飛輪的作用

，以幫助穩定電動機的微小變化，推動轉盤的軸必須裝在轉盤中心。看轉盤在轉動時，外圈下緣是否有高低的變動，即可檢查轉盤是否平穩。

其次轉盤與唱片之間，爲了避免滑動及磨損，通常總有一層橡皮墊子，或用其他能使唱片不滑動而又不易損壞唱片表面的墊子。

拾音臂的長度對於聲音再生的有無誤差有很大的關係，如圖 13—318所示。圖中的虛線是錄音時唱針所循的軌道（*track*），若拾音臂較短，再生時唱針在唱片上越過的路線（*path*)與原來的軌道之間的誤差比較大。拾音臂加長，可使此項誤差減少。在製造上通常從唱針到拾音臂支點的長度爲 $7\frac{1}{2}$ 吋至 8 吋，而專業（*professional*）用的拾音臂，其長度可達 12 吋，或依其實際需要，在製造時作適當的設計。



(a)拾音臂短誤差較大　(b)拾音臂長誤差較小

圖 13 — 318

圖 13— 319 所示，拾音臂爲直線形，常導使唱針動作產生誤差，因唱針自唱片的周圍漸漸沿螺旋形的音槽至唱片中心時，不能一直切於音槽，所以經過研究與改良常採用圖 13— 319 中(*a*)、(*b*) 二種型式，使再生的軌跡更與原刻劃時相符合。

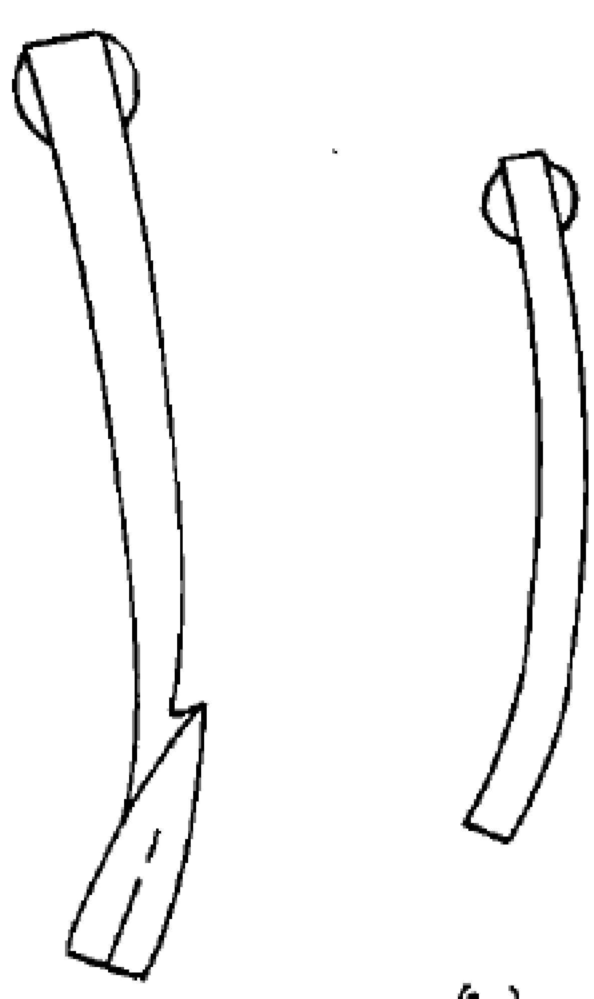
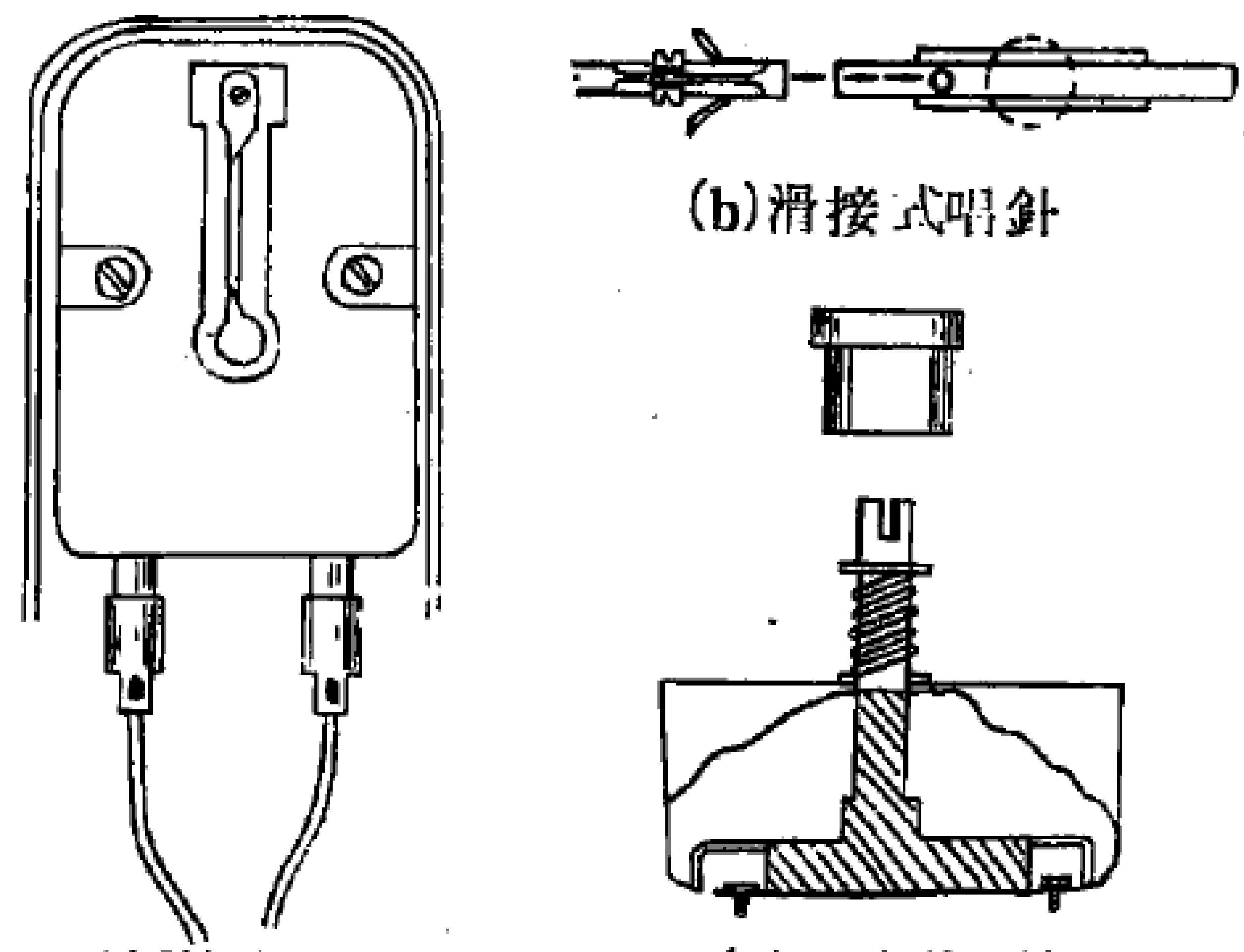


圖 13 — 319
改良型的拾音臂

唱針用於錄音時稱爲錄音針。在錄音時，錄音針自唱片的周圍向其圓心刻出螺旋紋，也就是說錄音針在空白的唱片上刻下螺旋形的音槽。當錄音頭（*cutting head*）不受微音器或放大器的驅動時，這條音槽的壁（*walls*）是平滑的。但當音波振及微音器，並將它變爲電脈衝，經放大器而至錄音

針時，錄音針使它變成機械脈衝刻於音槽中。錄音針使音槽壁向二方振動的幅度（*the degree of side-to-side motion*）的大小，是因聲音的強度而異；但振動的快慢（*rapidity*）是由音波的頻率決定的。

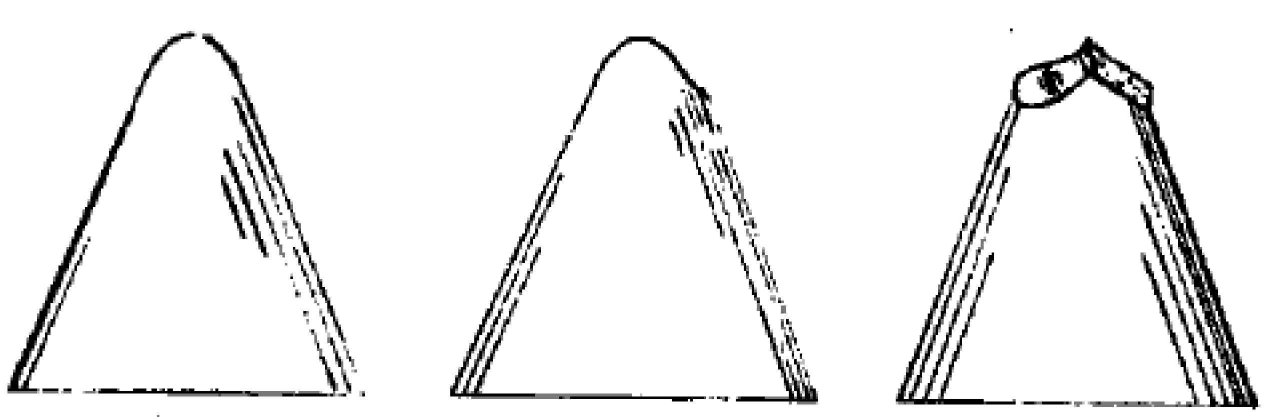
在拾音臂上的唱針，可依其裝置的方法而分爲插接式（*plug-in*）及滑接式（*slide-in*）二種，如圖 13 — 320(*a*)及(*b*) 所示。並爲方便三速的唱機，也有三速型（*triple-play*）的接法，如圖(*c*)所示。



(a)插接式唱針　(b)滑接式唱針　(c)三速型唱針

圖 13 — 320

唱針的針尖應經常保持爲圓滑的狀態，如圖 13—321(*a*)所示。當磨損至如圖(*b*)的情形，還可勉強使用。但到了如圖(*c*)的情形，就要更換，以免損壞唱片。



(a)　(b)　(c)

圖 13 — 321　唱針的針尖

【電通量】（Electric flux）

通量（符號爲Φ）是任何向量場的性質，它涉及場內假想的表面，此面可爲封閉或開放。就流動場言，通量（Φ_v）由穿過這種面的流線數目量之；至於電場，通量（Φ_E）由穿過這種面的力線數目量之。

封閉之表面，若各處之力線向外，則Φ_E 爲正；若各處之力線向內，則Φ_E 爲負。圖 13 — 322 所示二相等而相反電荷及其力線，曲線S_1、S_2、S_3和S_4 爲四個假想封閉曲面與圖面之交線。面S_1 之Φ_E爲正，S_2之Φ_E 爲負。

圖 13— 323 示在電場中一任意封閉曲面。將面分成正方基素ΔS，各基素甚小，可視爲平面。此種面素可以向量$\Delta \vec{S}$代表，其大小爲面積ΔS；$\Delta \vec{S}$的方向取爲向外垂直於曲面。

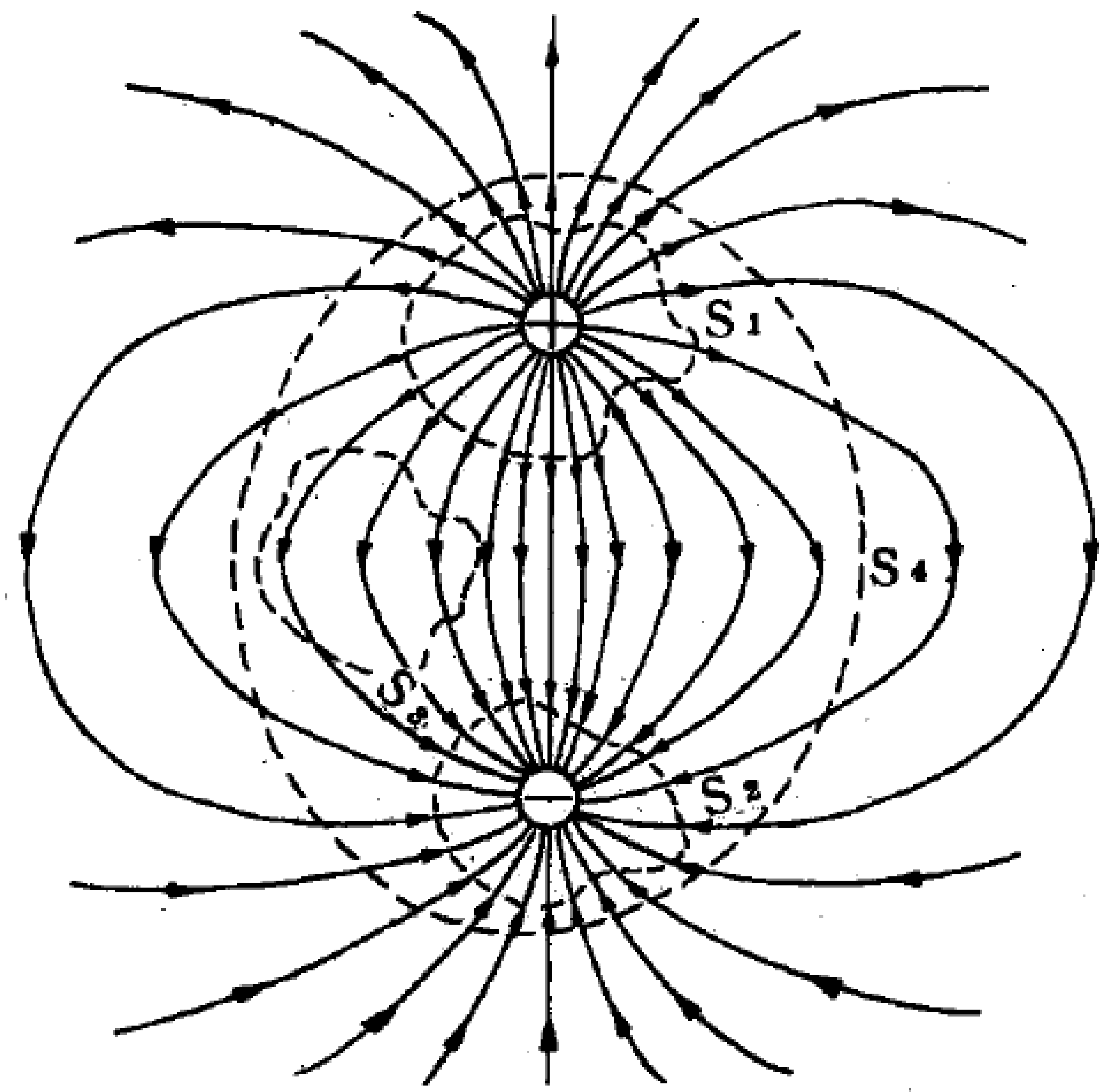


圖 13 — 322
相等而相反之二電荷，虛線代表假想之封閉曲面。

在圖 13— 323 中之每一方塊亦可畫一電場向量$\vec{E}$，因方塊已取爲任意之小，故在一方塊中各點之$\vec{E}$視爲一定。

各方塊特有之向量$\vec{E}$和$\Delta \vec{S}$互成角θ，圖 13 — 323 (*b*)爲圖 13 — 323 (*a*) 曲面上標以 *x* 、 *y* 和 *z* 之三方塊的放大圖，在 *x*，$\theta > 90°$；在 *y*，$\theta = 90°$；在 *z*，$\theta < 90°$。

通量的近數量（ *semiquantitative* ）定義爲

$$\Phi_E \cong \Sigma \vec{E} \cdot \Delta \vec{S} \qquad (1)$$

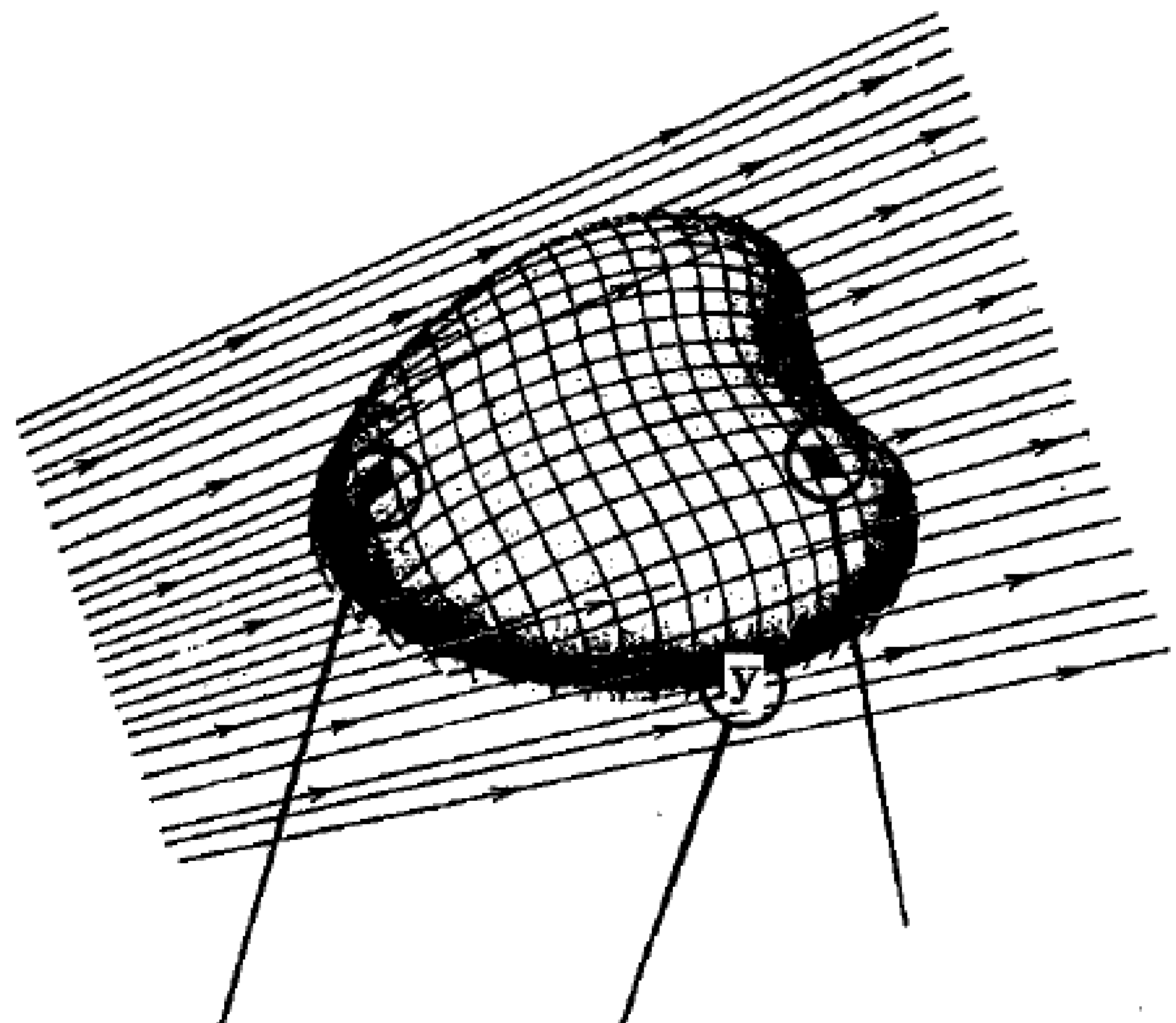
此式說明爲將曲面上所有面素之純量$\vec{E} \cdot \Delta \vec{S}$相加。在圖 13— 323 中，如 *x* 所示$\vec{E} \cdot \Delta \vec{S}$爲負，在 *y* 爲零，在 *z* 爲正。若$\vec{E}$在各處向外，$\theta < 90°$，則$\vec{E} \cdot \Delta \vec{S}$爲正，整個曲面之$\Phi_E$爲正；參閱圖 13—322之曲面$S_1$。若$E$在各處向內，$\theta > 90°$，則$\vec{E} \cdot \Delta \vec{S}$爲負，曲面之$\Phi_E$爲負；參閱圖 13 — 322之曲面$S_2$。由（ 1 ）式可知$\Phi_E$之適當*M.K.S.*單位爲牛頓米^2/庫倫。

電通量的嚴密定義由（ 1 ）式的微分極限得之。以對曲面之積分代替對曲面之求和，得

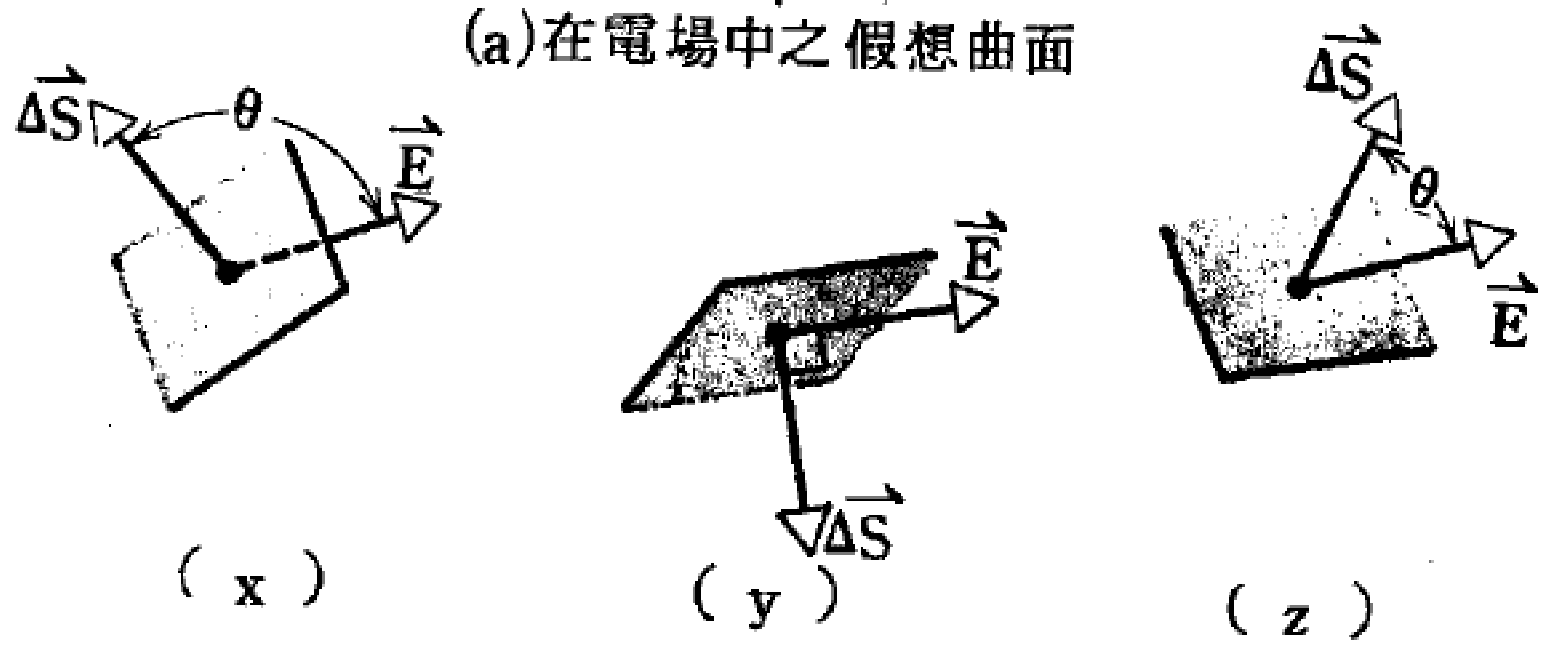
$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

此面積分表示對曲面分成無限小之面素 $d\vec{S}$，就各面素計算純量 $\vec{E} \cdot d\vec{S}$，再對整個曲面求和。

在電場中無論為封閉或為開放之曲面，其通量皆可由此法算得。當為封閉曲面時，我們特地在積分符號上加一圓圈來強調這種情形。因此 $\int \vec{E} \cdot d\vec{S}$ 代表穿過任意曲面之通量，而 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$ 則更表明此曲面為封閉。



(a)在電場中之假想曲面



(b) 曲面上三面素之放大圖

圖 13 — 323

【電距】(Electric distance)

長波行進速度其簡便單位為每微秒 983呎，即300米。

【電量】(Electric quantity)

物體上的電量是某種電荷超過另一種電荷的量。正號表示正電荷，負號表示負電荷。

若二等量電荷相距一厘米，作用力為一達因時，每一電荷的電量為單位電荷，此電量單位稱為靜電單位 (*C.G.S.* 制)。*M.K.S.* 制的電荷單位是庫倫，一庫倫是一安培電流一秒鐘內流經導線某截面的電量。一庫倫是電荷相當於 2.998×10^9 靜電單位。

【電量計】(Voltameter)

為電解器之一種，應用法拉第定律，在一定時間內量度電解質所析出之物質質量，以測電流強度的裝置。

電量計乃是利用電解液與電流間化學反應生成物的產量以測定電量，再除以時間即得知電流。

圖 13 — 324 是一種氣體電量計，兩個氣體收集管倒插於電解池中，以收集電流通過電解液所產生的氣泡。

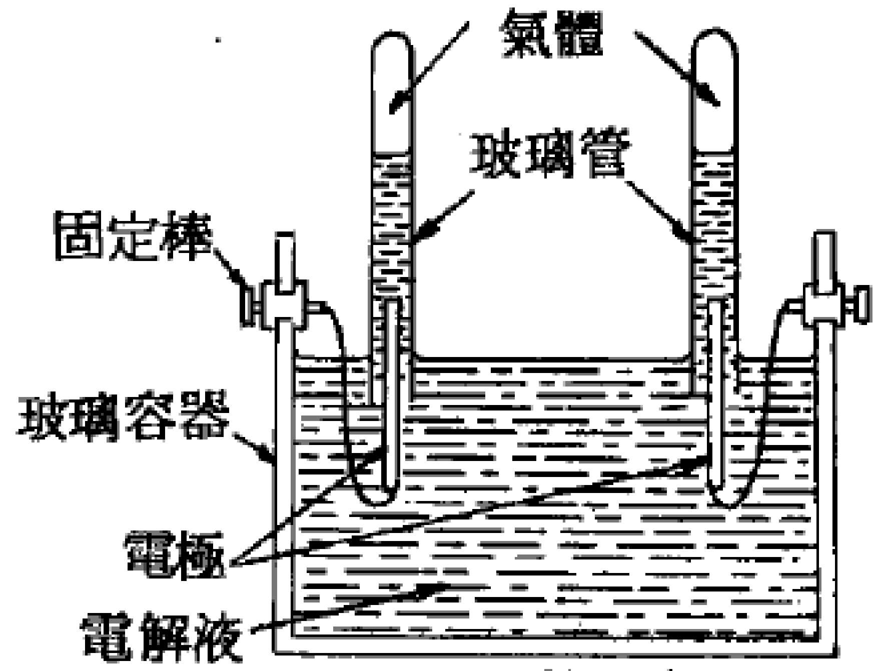


圖 13 — 324

其他還有水銀沉積電量計和銅電量計等。

【電報】(Telegraph)

電報是應用電磁鐵在兩地間互通信息的裝置。以電碼來代替文字。主要部分為發報機和收報機。發報時，將電鍵 K 按下，則電流由架空導線 L 通至收報機的電磁鐵 M，而通入地中，由地回至發報機的電池，成一通路。鍵的作用如一開關，使電流斷續，隨文字的點劃記號定電流的時間。如圖 13 — 325 所示，當電流通過時，電磁鐵將鐵片吸下，擊 A 釘而發聲；電流斷去時，因彈簧 S 恢復原狀，擊 B 釘而發聲。由兩聲相隔的時間，可決定文字點畫記號，這就是普通的發聲器。

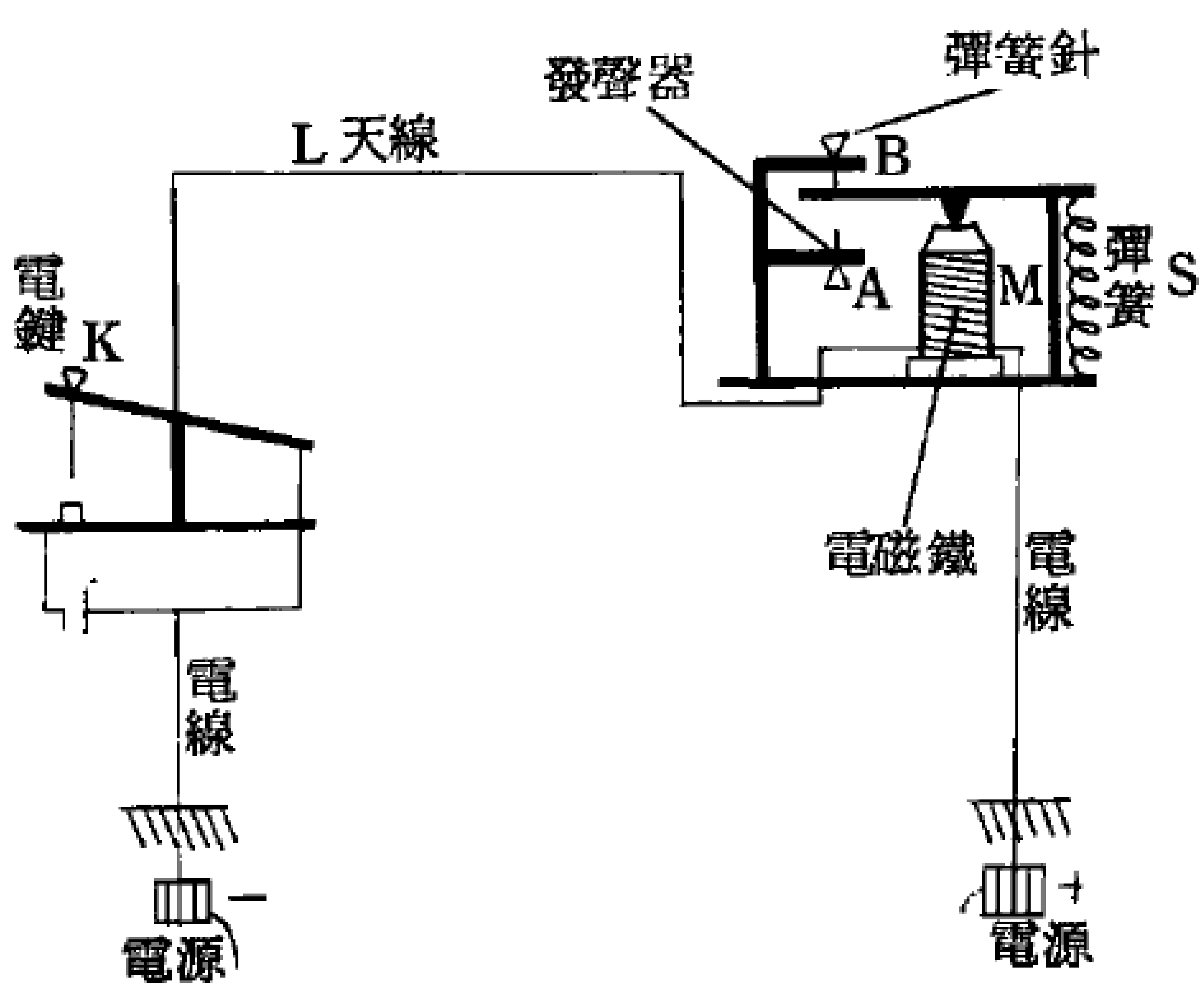


圖 13 — 325

在轉動的紙條上記錄下點或劃的記號，時間長（大約$\frac{1}{2}$秒）為短劃，時間短（大約$\frac{1}{5}$秒）為點；

點劃組合成電碼，再由電碼翻譯成文字，就可知道電報的內容。

為何甲地的電報員按下電鍵，在乙地的電磁鐵便接通而工作？因乙地的收報員收聽到甲地發過來的呼號（這叫做電報的開關），立即打開“電報開關”回答甲地的呼號，表示收聽到了“你的聲音”，然後才能開始正式的通話。所使用的頻率是一致的，這就是國際無線電通訊。

【電報交換機】（Telegraph exchange）

是一種電報通信機器。如將通達各處的電報電路與收發電報的設備都集中地接到交換機上，當值機員撥動某些電鍵時，就能使任何一條電路接到任何一套收發報設備上工作，或使任何一條電路接到其他一條電路上直接通報。

【電報電鍵】（Telegraph key）

進行有線電報及無線電報發送時用來將發射機中一個電路迅速斷開或閉合的一種專門開關。在低功率無線電臺上的電路斷開由電報電鍵本身來執行，而在強功率電臺上，則不是用電報電鍵直接將電路關斷，而是要借助於繼電器。

【電報學】（Telegraphy）

研究利用電報作通信的一般知識。

【電報鍵控】（Telegraphic keying）

使無線電報發射機產生信號的操作。實現無線電通報的最簡單情況是：發射機在發射信號的時間內發送出等幅振盪，而在信號之間的停息時間內停止發射。欲使發射能夠停止，應對發射機一級或數級振盪電子管的屏極電路、控制柵極電路、簾柵極電路或抑制柵極電路施以作用，這種作用就叫做鍵控。實現鍵控的方法，通常是將相應的電路開放或截斷，或者改變作用於該電路中的電壓。

【電場】（Electric field）

一電荷周圍，對另一電荷有靜電力作用的範圍，稱為該電荷的電力

場，簡稱電場。與任何場一樣，電場是將作用由一種物體傳送於另一物體的物質形態。電荷的相互作用也正是由於這些電荷的電場所生成。一電荷 q 置於他電荷 q_1，q_2，q_3，…等等所存在之空間（如圖 13 — 326），此電荷 q 受一力

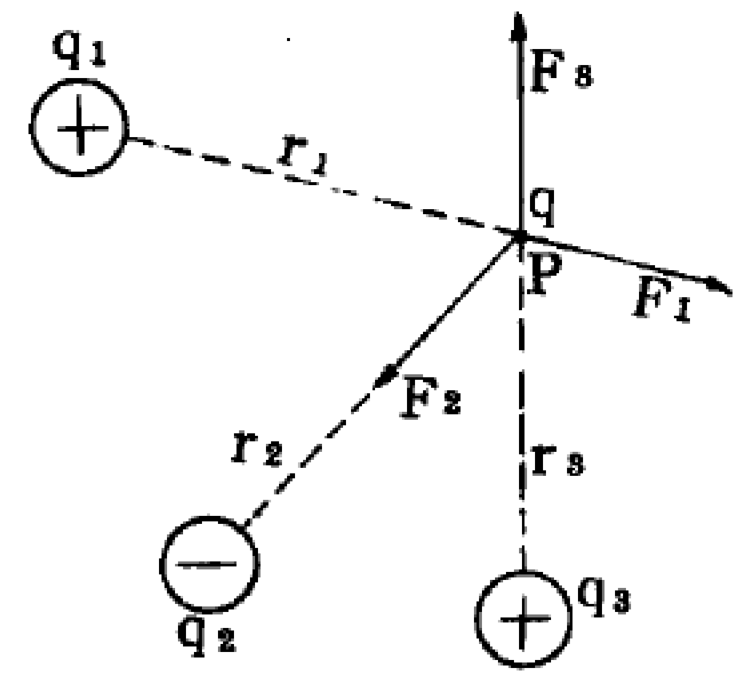


圖 13 — 326
由數電荷於P點所構成之電場

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \cdots\cdots$$

作用，則謂有一電場由電荷 q_1，q_2，q_3，…建立（電荷 q 當然亦施力於 q_1，q_2，q_3，…電荷上，但現所關注者爲 q）。每一電荷 q_1，q_2，q_3;……作用於 q 上之力正比於 q，其合力 F 亦正比於 q。是故電場中一質點所受之力，正比於該質點之電荷。

將帶有試驗電荷 q_0（假設爲正），則作用於 q_0 的電場 E 爲

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad (1)$$

因 $\vec{F}$ 是向量，q_0 是純量，故 $\vec{E}$ 是向量。$\vec{E}$ 的方向就是 $\vec{F}$ 的方向，即是置於該點之靜止正電荷勢將運動的方向。E 的單位爲牛頓/庫倫。

應用（1）式時，須用儘量小之試驗電荷，大試驗電荷會擾動生此電場之原電荷，因而改變欲測之量。嚴格言之，（1）式應改爲

$$\vec{E} = \lim_{q_0 \to 0} \frac{\vec{F}}{q}$$

此式說明用逐漸減小之試驗電荷 q_0 每次計算比值 $\frac{F}{q_0}$，當試驗電荷的大小趨近於零時，電場 $\vec{E}$ 即是比值的極限值。

位於電場中的電荷受到電力的作用移動時，電場力便作出一些功。相反的欲使電荷逆著電場力而移動，則需要消耗一些功，這就是說電場具有能量（*energy*）。若在空間任何點有電場 $\vec{E}$，可視該點爲儲有能量之處，其單位體積內之能量爲 $\frac{1}{2}k\epsilon_0 E^2$，$\epsilon_0$ 爲介電係數，k 爲導磁

率。可知電場能量的大小，決定於電場強度。絕緣體（*insulator*）如帶電，其電荷只存在於表面。空心的球體中無電場。絕緣體表面上的電荷密度，隨表面曲率的半徑而異，曲率愈小密度愈大，即尖端的荷電密度最大。

電場用力線圖來表示，力線就是方向與電場強度矢量方向相符合的線條。電場強度的絕對值正比於該處的力線密度，即穿過與力線方向相垂直的單位面積的力線數。力線由負電荷開始，終結於正電荷。例如在點電荷的情況下，電場力線是由點電荷均勻地散向各方或者由各方聚向於電荷的直線。這時穿過垂直於力線的1平方厘米面積的力線數與至電荷的距離的平方成反比例地減少，電場強度也就隨之減弱下去。以點電荷爲例，一點電荷Q於空間所生的電場爲

$$E = Q / 4\pi\epsilon_0 r^2$$

r是至電荷Q的距離。若在距離r處置另一電荷q，則所受之力爲

$$F = qE = Qq / 4\pi\epsilon_0 r^2$$

即庫倫定律的形式。

兩電荷產生之力，在法拉第描述中，每一充有電荷的球上任何一點均有垂直之電力線，電力線的指向爲表示力的方向，電力線不能互交。

凡集中之電荷必產生電場，此電荷來源，可能爲一電池，或加速運動的離子，或金屬中的電子的轉移，只要有電荷的建立即有電場存在。

電場不只是能夠由電荷所產生，還能由其他的作用而激勵起來，例如電磁感應、化學反應等等。這種電場叫做非電生電場。與電荷的電場一樣，這種非電生電場也有一定的力量作用於電荷，並隨電荷的移動而可以作功，即具有能量。雖然在對電荷作用方面，這種非電生電場具有與電荷電場相同的性質，但其結構卻完全不同，即具有不同性質的力線圖。電荷電場的力線全都是從電荷開始，並終結於電荷，非電生電場的力線則與電荷無關。

【電場之高斯定律】(Gauss' law of electric field)

如果有數個點電荷 q_1，q_2，q_3，····位於任意封閉表面 S 內 (如圖13 — 327) ，則總電通量將爲每一電荷所產生的通量之和。即穿過圍繞電荷 q_1，q_2，q_3，····的封閉表面的電通量是

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot \vec{u}_S \, dS = \frac{q}{\epsilon_0}$$

式中 $q = q_1 + q_2 + q_3 + \cdots\cdots$ 爲封閉表面內的總淨電荷。在封閉表面外的電荷 (如在圖 13 — 327 中之 q'，q''，····) 對總通量並無貢獻。

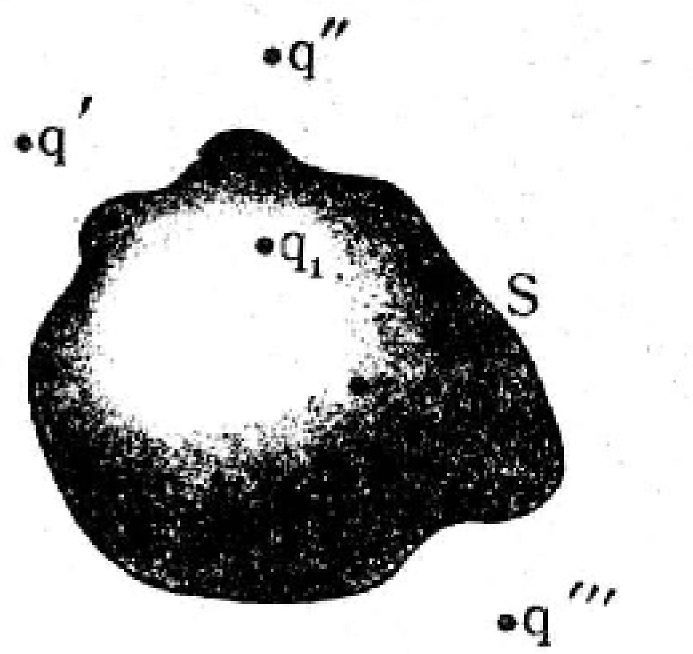


圖 13 — 327
穿過任何封閉表面的電通量與包含於此表面內之淨電荷成正比

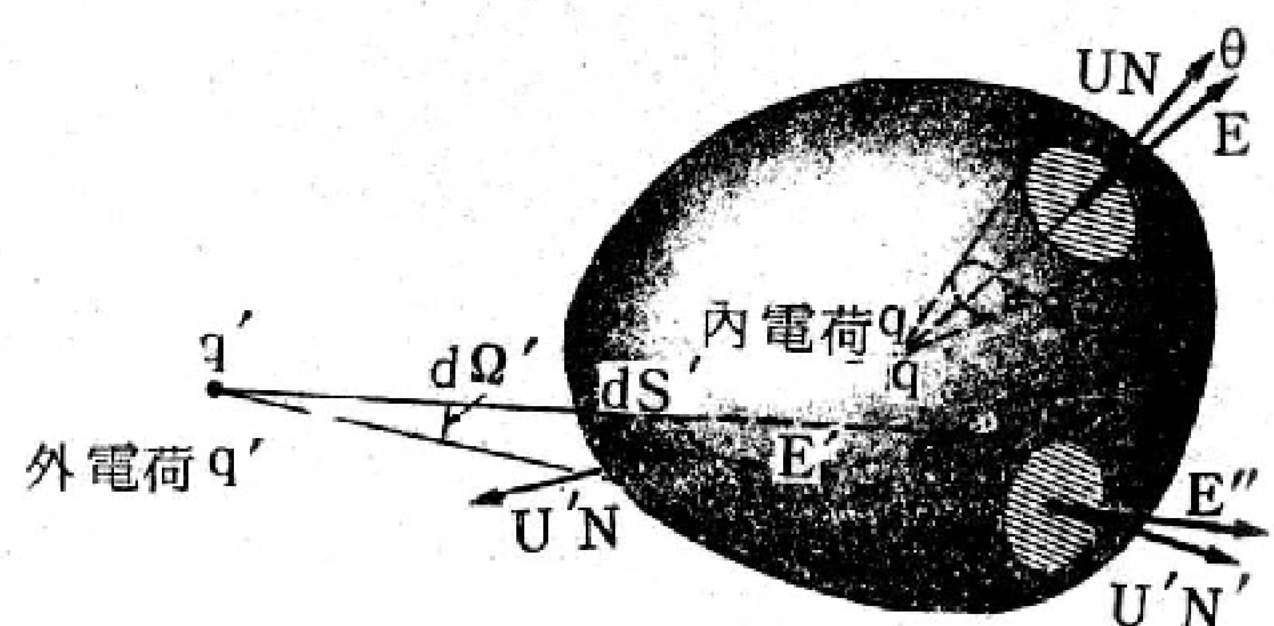


圖 13 — 328
穿過圍繞一電荷的封閉表面的電通量與表面的形狀無關

假定一電荷 q 位於一任意封閉表面 S 內 (如圖 13 — 328) 。由電荷 q 所產生的電場穿過 S 的總通量爲

$$\Phi_E = \oint_S E\cos\theta \, dS = \oint_S \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\cos\theta \, dS$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\oint_S \frac{dS\cos\theta}{r^2}$$

但是 $\frac{dS\cos\theta}{r^2}$ 爲自電荷 q 看到的面積基素 dS 所張的立體角 $d\Omega$ 。因爲圍繞一點的總立體角爲 4π ，故得

$$\Phi_E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\oint d\Omega = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}(4\pi) = \frac{q}{\epsilon_0}$$

這一結果，對任何封閉曲面而言，不論包含於曲面內的電荷位於曲面內

何處均爲正確。若有一電荷如q'位於封閉曲面之外，因爲進入的通量等於穿出的通量，故淨通量爲零。例如，q'穿過dS'的電通量，與穿過dS''的電通量係大小相等而符號相反，因此它們相加而得零。

用高斯定律可求出球狀對稱電荷分佈所產生的電場。球狀對稱是說電荷密度ρ僅隨離中心的距離變化。因爲沒有特殊的方向，故可以推想任何一點的電場一定是中心處指向外方的。

假設一均勻的球狀電荷分佈，其電荷密度爲ρ。若P_1點在分佈之外，我們可以通過P_1作一假想的同心球面S_1，半徑爲r_1，如圖 13—329所示。根據高斯定律，通過球面S_1的電場通量等於S_1內所含的電荷乘以4π，即

$$\int_{S_1} E_n dA = 4\pi \int_V \rho\ dV$$

由於沒有特殊的方向，E_n在S_1面上的數值是均等的。因此

$$4\pi r_1^2 E_1 = 4\pi\rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$$

或

$$E_1 = \frac{Q}{r_1^2} \qquad (1)$$

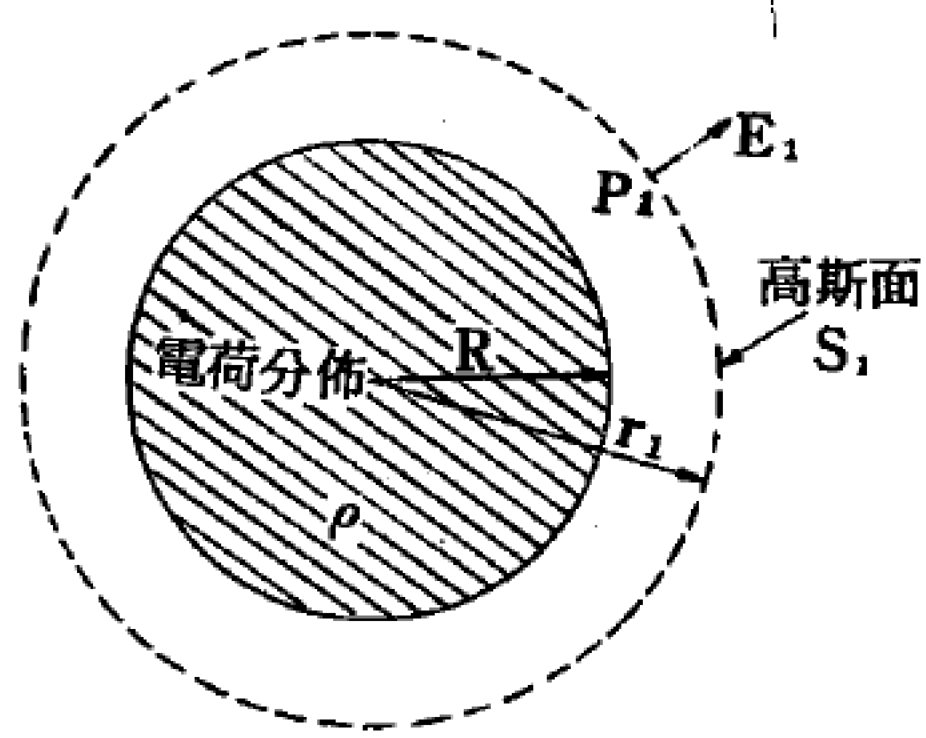


圖 13— 329
在一個球狀電荷分佈外面圍以高斯面

R爲電荷分佈的半徑，$Q=\frac{4}{3}\pi R^3\rho$爲球體內的總電荷。（1）式表示在S_1上任何一點的電場，好像在S_1內的電荷都集中在中心所產生的電場一樣。

同樣的方法可以被應用在電荷分佈範圍以內一點P_2的電場。通過P_2作一假想的高斯面（*Gaussian surface*），根據高斯定律，以及整個問題的球狀對稱性，可得：

$$4\pi r_2^2 E_2 = 4\pi\rho \cdot \frac{4}{3}\pi r_2^3$$

或

$$E_2 = \frac{Q}{R^3} r_2 = \frac{Q'}{r_2^2} \qquad Q' = \left(\frac{r_2}{R}\right)^3 Q$$

【電場放射】(Electric field emission)

電場放射也就是冷陰極放射(*cold-cathode emission*)。將強電場(正高電壓)加於放射極之表面旁，使放射極金屬內的電子，受正電場的吸引力而被拉出。因此所加的正電場越強，從冷陰極所得的電場放射也就越大。

【電場計】(Electric field meter)

測量電場強度之儀器。

【電場強度】(Electric field intensity)

一單位正電荷在電場中某點所受的電力，稱爲該點的電場強度。若 q 單位電荷在某點受 $\overrightarrow{F}$ 牛頓之電力作用，則電場強度

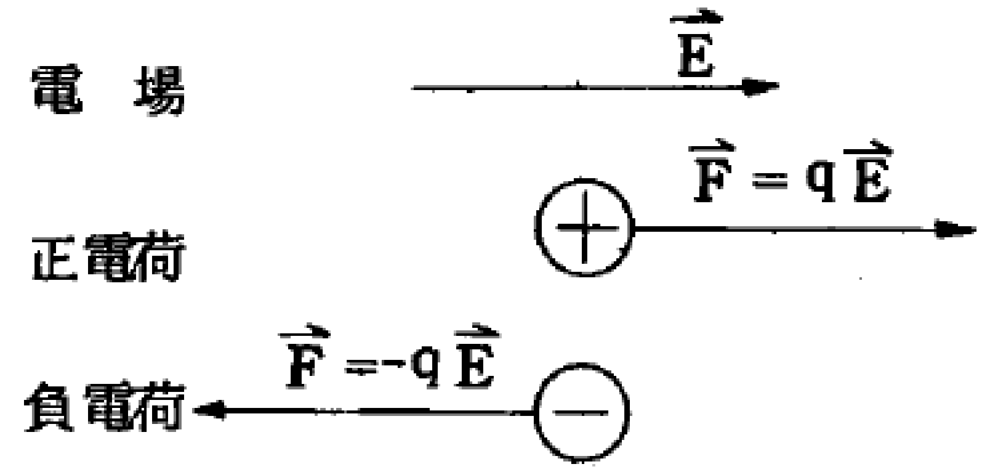


圖 13 — 330
電場作用於正電荷與負電荷上電力之方向

$$\overrightarrow{E}=\frac{\overrightarrow{F}}{q}$$

電場強度以牛頓/庫倫(NC^{-1})爲單位表示之，若利用基本單位，則爲 $mkgs^{-2}C^{-1}$。若 q 爲正，則作用於 q 電荷上之力 $\overrightarrow{F}$ 與電場 $\overrightarrow{E}$ 同向，若 q 爲負，則力 $\overrightarrow{F}$ 與 $\overrightarrow{E}$ 反向(如圖 13 — 330)。

單電荷之電場，距 q_1 單位電荷 r 米處之電場強度 $\overrightarrow{E_1}=k\frac{q_1}{r^2}$ 電場，在其輻射的方向。

多電荷之電場，爲各電荷電場強度之向量和

$$E=k\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{{r_i}^2} \qquad \overrightarrow{E}=\overrightarrow{E}_1+\overrightarrow{E}_2+\cdots\cdots+\overrightarrow{E}_i$$

在某區域內，一電荷所受之力，不因位置而改變，此區域內的電力場稱爲均勻電場。一個大平板均勻帶電時，除了兩板的邊緣部分，其間的電力場爲均勻電場。卽一電荷在兩板間各點均受相等的電力。

如果在電場內置放一個電荷，則電場將對這個電荷施以一定的作用

力，此力的大小和方向便決定於該點的電場強度。就是說，電場強度的矢量方向就是電場對場內所放正電荷所施力量的作用方向。電場強度的大小則決定於對於電荷的作用力與電荷本身大小的比值。換句話說，電場強度在數值上是等於電場對單位電荷的作用力。如果這個單位電荷沿著它所受作用力的方向而運動，則電場將作功W，此功由作用力（等於電場強度E）與電荷所經路程d的乘積來表示，即$W=Ed$。但電荷由一點移至另一點時，電場所作的功等於這兩點之間的電位差。由此便可看出，在距離爲d的兩點之間電場強度與電位差的關係爲：

$$E=\frac{U}{d}$$

只有當電場強度在距離d內是恆定不變時（即其可視爲均勻場時）才能有這樣簡單的關係式。舉例來說，假如板間距離爲d的平板電容器充電到電位差U，則因爲電容器板間電場是均勻的，電容器內的電場強度便爲：

$$E=\frac{U}{d}$$

從電位差與電場強度的比式關係可以看出，如果電位差用伏特來度量（在實用單位制內），則電場強度便表示爲伏特/米、或者伏/厘米、毫伏/米、微伏/米等。無線電波的強度通常用該波的電場強度來表示。在發射機近旁的地方，無線電波的電場強度可能達到數百伏/米。靈敏接收機尚能查覺的最弱無線電波，其電場強度大約是0.1微伏/米。

【電場與磁場之連結】（Coupling of electric and magnetic field）

馬克士威（*Maxwell*）的第一和第二定律，爲馬克士威理論的核心。爲期對電磁過程獲得一簡略的印象起見，茲先假定各力線均爲封閉曲線。設電場E能發生於空間的任何位置，而其強弱則隨時間而變化（例如當電容器充電與放電時），則據馬克士威第一定律，必有一磁場產

生，且將該電場包圍在當中。接著此磁場在頃刻之間即消失，此時根據馬克士威第二定律，又會產生一電場將磁力線包圍在當中。然後，此一電場又會根據第一定律形成一環形磁場，依此類推。電場與磁場的這種耦合過程，就是這樣以有限的速度繼續傳播開的。其磁力線與電力線有如一根鏈條上之各環，環環相續，如圖 13— 331 所示。該圖中又指出磁力線與電力線係互相垂直。由馬克士威理論所導出的結果尚有一重要之點，即在這種耦合過程中，電磁狀態的變化，乃以光速向外傳播。

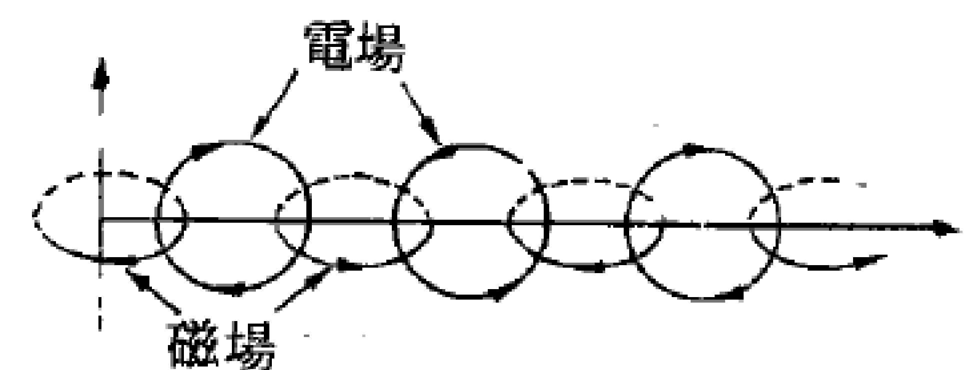


圖 13 — 331

電場與磁場互相連結的情形

由馬克士威第一及第二定律可知，電場常數 ε_0 及磁場常數 μ_0 二者與光速之間必有一簡單關係存在，如使 ε_0 及 μ_0 二者的數值相乘，即得：

$$\varepsilon_0 \cdot \mu_0 = 8.86 \times 10^{-14} \times 1.256 \times 10^{-8} \frac{\text{安培-秒} \cdot \text{伏特-秒}}{\text{伏特-厘米} \cdot \text{安培-厘米}}$$

$$\approx 11.13 \times 10^{-22} \frac{\text{秒}^2}{\text{厘米}^2}$$

由於乘積的因次爲速度平方的倒數，因此，倘按乘積 $\varepsilon_0 \cdot \mu_0$ 的方根倒數來計算，則結果便與光速大小相等。

$$\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \approx 3 \times 10^{10} \frac{\text{厘米}}{\text{秒}} = 300,000 \frac{\text{仟米}}{\text{秒}}$$

由此，可得一簡單而重要的公式：

$$\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = c$$

【電視】(Television ; T.V.)

在電視出現以前，電影就利用視覺暫留 (*persistence of vision*) 而大開眼界。每一個小學生都知道，只要將連續動作畫片，快速連續

顯示出，就成爲一個連續動作的畫面。當每秒鐘以 16 張的速度顯示（業餘者用每秒 16 張的速度； 而職業性者，則用每秒 24 張的速度），人眼就無法分別出各個單張畫面，這完全是由於視覺暫留的原因，使人感覺畫面的動作是連續的。

電視是將分成無數圖素的很多靜止圖像，連續傳送出。由於人類的視覺暫留，因此能由靜止圖像的連續出現，而得景物移動的感覺。電視攝影機，在外觀上和電影攝影機一樣，可是內部就大大的不同了。電視攝影機裏沒有軟片，而是一種特殊的眞空管。光線衝擊管內的幕或屏上。屏上被覆著有感光異常敏銳，數以千百計的小孔，電子群就像彈雨一樣射到這些小孔上。它們每射中一個小孔，立刻就轉到下一個小孔上。這個速度快到每秒鐘的衝擊達到千百次之多。電子每擊中小孔一次，就送出去一個電衝。電衝的強力都不一樣。它們是依著光通過攝影機的透鏡，落到小孔上的量來決定的。這個電衝是用來改變（調節）載波的。調整好了的無線電載波，就從發射臺發射出去。

當你旋開開關選取這些調整好了的電波時，就是在用它們控制另一個眞空管裏的電子群。這個眞空管的一端是一個狹長的頭，另一端是一個寬大，而中部微呈凸出的玻璃面。管末端的平廣的玻璃面，就是所見的映畫面。

一本書中的圖畫，是用墨水畫出或是印刷的。電視的畫面，是光線投射在玻璃上而成的。玻璃內層表面上，塗有一層白色或灰白色物質的膜。電子群掃過這層玻璃的膜面，而在每秒鐘內衝擊著玻璃的每一部分有無數次。衝擊的次數，就要看攝影機裏電子群掃過小孔的次數來定了。所以映面上的畫景，就和若干哩外攝影機上的畫景完全一致。電視機發聲和收音機的原理是相同的。

現在你該知道了，從空氣中傳到你的電視裝置裏，是既沒有畫也沒有聲音。它們只是從發送臺發射出的無線電波。你接收這電波，就可以

坐觀映幕上現出的畫景，同時由揚聲器裏傳出聲音來。

電視站裏有一部配置一個透鏡，可以在一個特別電子管視幕上顯像的攝影機。一束電子射向電子管衝擊著視幕。從一邊急速地掃向另一邊，又向幕下掃射產生如圖 13—332所示的一組線，這種方法就是掃描。在 $\frac{1}{30}$ 秒裏，電子束颼颼地橫過電子管 500次，從頂到底還會有 25 倍之多。然後又再從上向下掃描，颼颼地再橫過電子管，完成另一個 500和另一個 $\frac{1}{30}$ 秒的掃描。

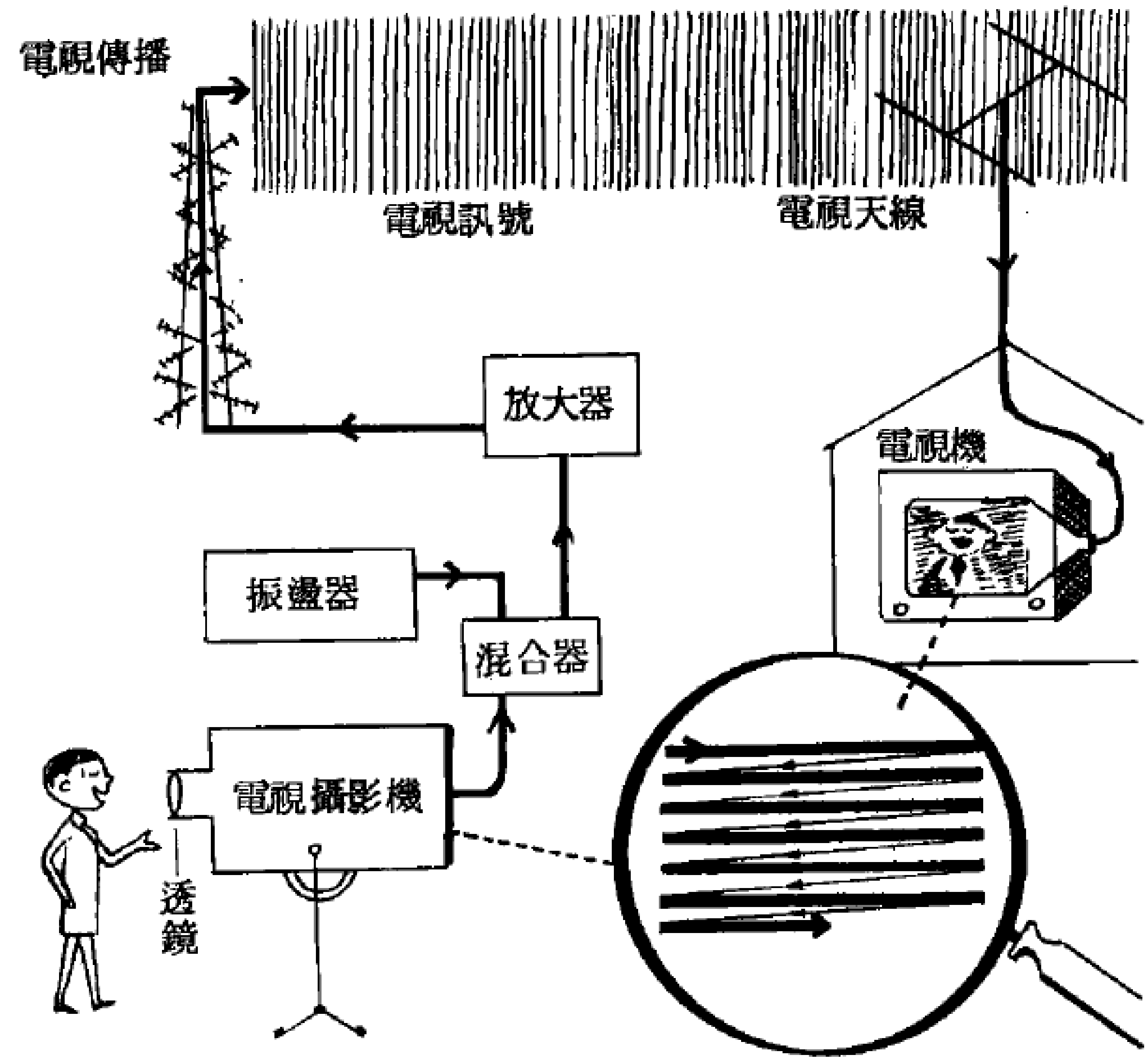


圖 13 — 332
電視攝影機與電視機於 $\frac{1}{30}$ 秒時間內在電子管中產生 525條線。

像這樣每秒要重覆 30次。當電子束在視幕的像上一點繼著一點接觸後，不管什麼時候，在光點上就造成了更多的電流從線上流出和電子管接觸；暗點地方電流就要少些。所以在視幕上電流流量的變化，就全依著像上的光暗來定。

以後就和無線電廣播裏所發生的情形一樣了。這改變電流是和比較更快速振動的載波訊號混合起的。同時與從微音器來的振動也是混合起的。無線電波放出去了於是就有了一百個百萬次載波的振動來。另外再加上由電子束掃描影像所造成的振動，再加上表演者聲音的振動。

無線電波由電視廣播站發送出來，以每秒 186,000 哩的速度射到空中，在一霎時間後就會衝擊到你的天線，正和收音機的情形一樣。電波在天線裏，造成了和原來放出的電波一樣微弱的電流，於是這 $\frac{1}{30}$ 秒的運動，再加上千百個其他電的部分聯合運動，把電流加強析清，就使你從電視機的電子管裏獲得了聲色的享受。電子從線上衝過，電子管和其他部分，就以一秒約振動 100,000,000 次驚人速度來振動。有一些電子管加強了這振動，有一些電子管把這振動成像的部分使它清晰加強，再把它送到大的映像管裏。有一些電子管把振動成聲清晰的部分加強送入揚聲器裏。

大的映像管內部的情形，是一束電子從管後面狹細部分直向管的前面射去。光線經過了一組有改變電流的電子管，造成電子束在管前方的視幕上，作左右上下和前後的掃射，而作成與電視站映像管上完全一致的線條。$\frac{1}{30}$ 秒時間內，要產生與電視攝影機所拍攝一致的 525條線來，你的電視機裏也有一套，包括一些電子管和其他產生掃描線，以及一些和廣播裏相同的部分。

現在從那進入訊號的映像部分改變電流，饋給映像管狹細的末端。跨過電子管就忽強忽弱地掃射到視幕上。當電子跨過視幕的電子管，以 $\frac{1}{30}$ 秒 525 次的速度投射時，較強的光線即造成了明點，較弱的光造成了暗點，所以映出來的光暗便和原像完全一樣了。

現在，你可以看到，要獲得任何畫面所必須的完整安排了。電子束以每秒幾千哩的速度，向前投射到電子管的視幕上，造成了幕上的一點，這是以一秒約 4 哩的速度橫過電子管表面的結果。在這一霎之間，加強了的光線迅速在轉變，也許一秒鐘內就要改變到一百萬次。這樣在視幕上的光暗就和遠方電視攝影機上，你所看不到的所拍攝的景全然相同。顯出的圖像，只有黑白二色的，叫黑白電視；有彩色的，叫彩色電視。電視的應用很廣，常用在廣播、工業及軍事等方面。電視廣播由電視

廣播臺播送節目，觀衆即可從電視接收機中看到表演，同時也能聽到聲音。在工業上可以利用電視在較遠的地方觀察高溫或危險場所的生產過程。在軍事上可以利用電視進行偵察及聯絡，使指揮人員能看到前線或敵方的情況。至於遙控、導航和觀察太空等亦普遍地被採用。

【電視之頻帶寬及頻道】（T.V. band width and channel）

電視系統必須發射很多資料，並且需將這些資料迅速的顯現。每秒鐘內必須掃描15,750條線（每1/30秒掃描525條線），而每條線中又含有很多的圖素。因為在極短時間內，需要傳送大量的資料，所以必須用高達4百萬赫的視頻高頻率信號，予以傳送。除了視頻信號，另外在電視總頻帶內，需加一完整調頻音響頻道。因此要傳送一完整的電視信號（包括影像及音響），必須有一6百萬赫寬度的頻道方可。很顯然的，此一極寬的頻率範圍，不能放在535到1,600仟赫的廣播頻率範圍內。因此美國聯邦通信委員會，在特高頻率範圍開闢了13個頻道都是6百萬赫的寬度。從54百萬赫到88百萬赫為2、3、4、5及6頻道，從174百萬赫到216百萬赫，為7、8、9、10、11、12及13頻道。另外從14頻道到83頻道，則訂在470百萬赫到890百萬赫。當轉動接收機的頻道控制器，就可適當的選擇這些頻道。

如果電視系統所產生的視頻頻率高達4百萬赫，則調幅視頻載波的兩邊頻帶，就有8百萬赫，因用單邊頻帶（*single sideband*）以傳送視頻載波信號，為避免失真及簡化接收機電路，視頻低邊頻帶的殘存部分也予以送出。這也就是美國電視系統所用的殘邊頻帶傳輸（*vestigial sideband transmission*）。

圖13—333是一個標準6百萬赫電視頻道分佈圖。假如低邊頻帶的最低頻率為零，殘邊頻帶就由零延伸至載波頻率1.25百萬赫的位置，而高邊頻帶，則由1.25百萬赫延伸到5.25百萬赫，高頻帶的寬度為4百萬赫，然後其波幅逐漸下降，一直到5.75百萬赫。調頻音響載波，在大

於視頻載波 4.5百萬赫的位置，中心載波頻率則在575百萬赫，其兩邊的頻帶最大延伸 100仟赫。爲獲得此一小的頻帶寬（100仟赫），需用最大頻率偏差爲± 25仟赫的狹頻帶調頻（

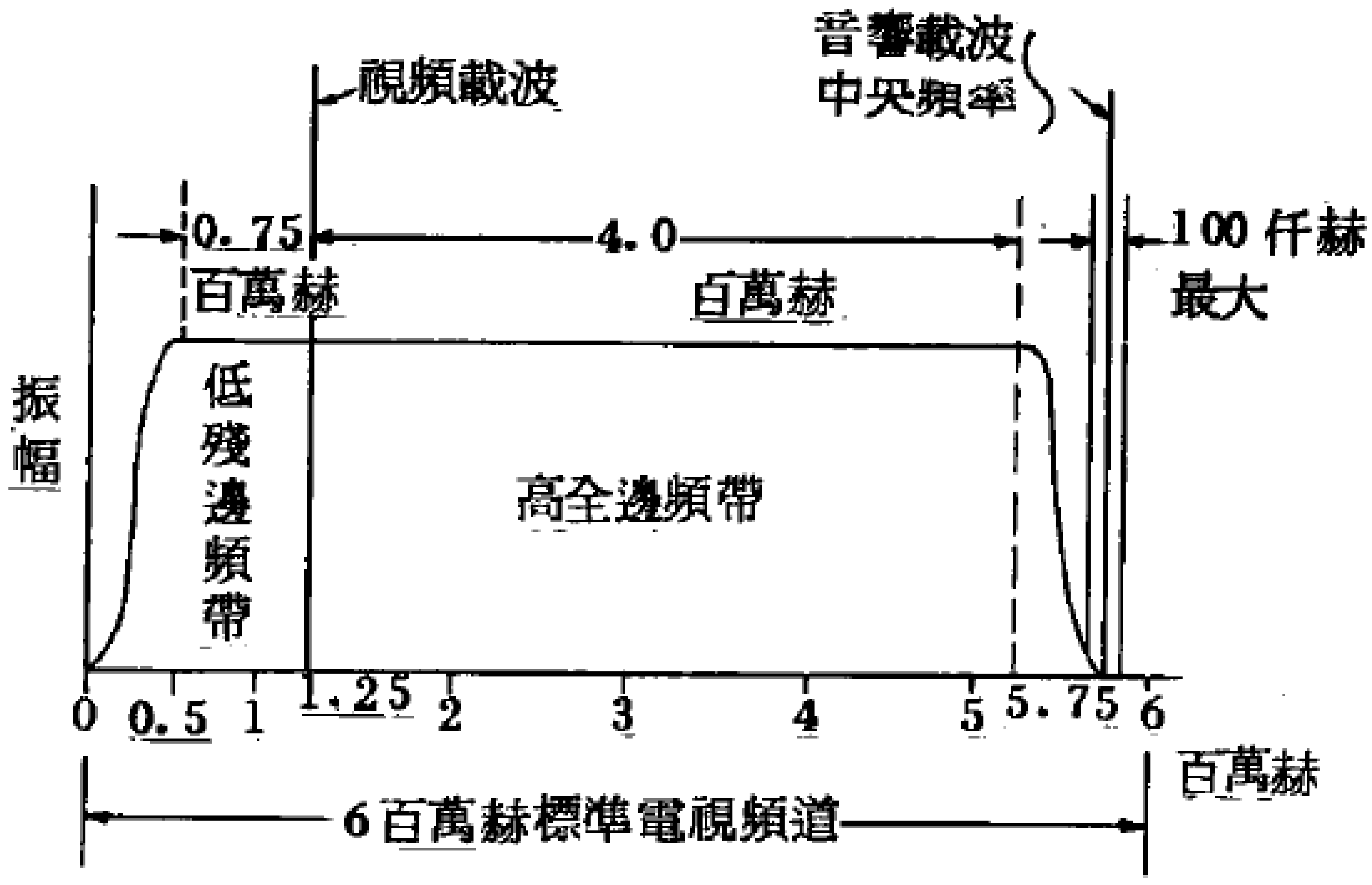


圖 13 — 333　美國標準電視頻道

narrow-band frequency modulation）方式。在音響頻道右側，所餘的一個小頻帶，則被空出來不用，以避免與鄰近電視頻道互相干擾。

在實際上，6百萬赫電視頻道是被分在非常高的頻率範圍內。第2頻道從 54百萬赫延伸至 60百萬赫，第 4 頻道由 66百萬赫到 72百萬赫，第 5 頻道由 76百萬赫到 82百萬赫等。關於每一頻道內的分佈情形，都是與圖 13—333 一樣。

【電視系統】（Television system）

圖 13—334 是一個完全的電視系統，包含圖像的發射和接收以及音響信號。電視機利用同一發射天線送出兩個單獨的射頻載波信號，一

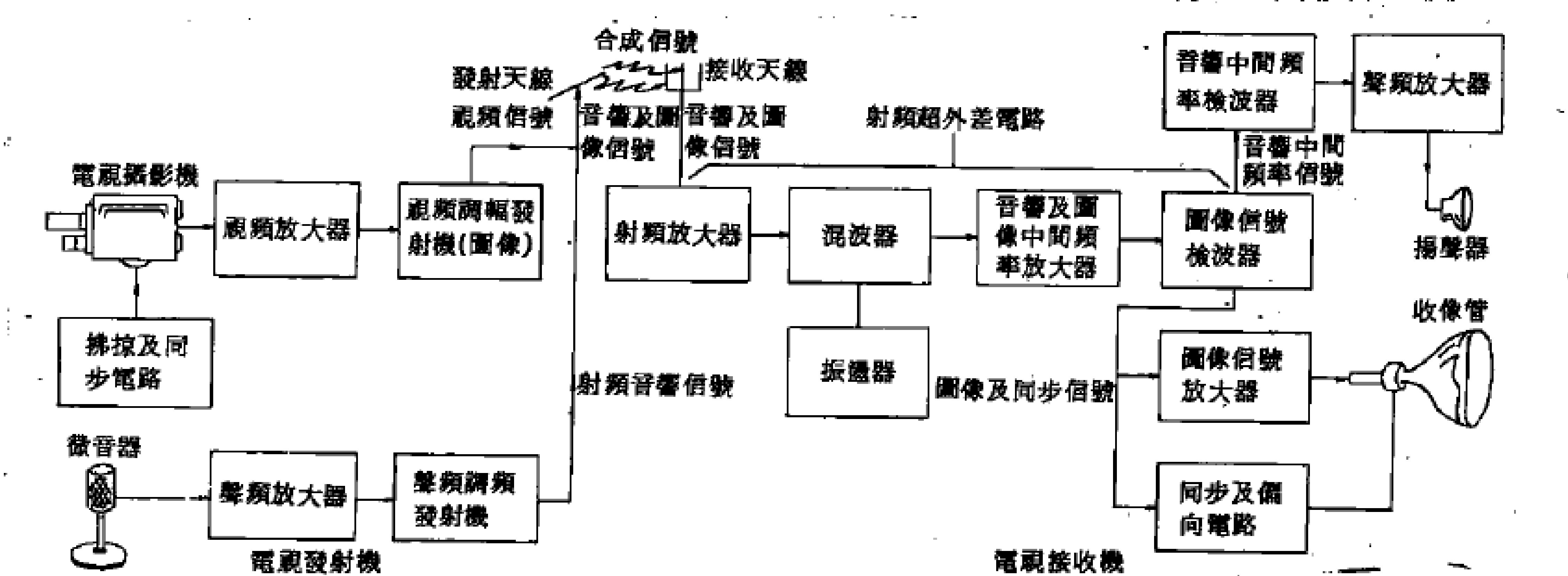


圖 13 — 334　簡單電視系統方塊圖

爲經音響信號所調變的調頻載波信號，另一爲經視頻信號所調變的調幅載波信號。兩個載波的頻率，相差 4.5 百萬赫。

在電視發射機方面，圖像信號及音響信號是分別處理的。電視攝影機的鏡頭對準一景物時，其圖像就呈現在電子攝像管上，然後圖像經掃描而成無數的圖素，再變爲相應的視頻電波信號。爲使接收機接收時，能將圖像重新組成，所以在發射機所發射的視頻信號中，另加有同步信號（*synchronizing signals*）。由同步信號及視頻信號所合成視頻信號，經數級視頻放大器予以放大至某種程度，使其能作發射機的調幅用。最後，視頻調幅載波經電視發射天線送出。

關於電視系統的音響部分，與一般的調頻發射機相同。音響經微音器送至聲頻放大器放大，然後以調頻方式調變發射機的載波，此載波（中央頻率）較視頻載波頻率高 4.5百萬赫。經聲頻電波所調頻的載波，同樣利用發射視頻載波信號的天線送出。

電視接收機也包含了兩部分。一爲由接收天線所收到的音響與視頻載波信號，首先先經超外差電路處理。所欲接收的電視頻道經調諧電路選擇後，而得音響載波信號與視頻載波信號，同時被一個射頻放大器放大，放大器的頻帶寬必須足以通過兩個載波，以及其各自的邊頻帶。射頻信號與本地振盪器所產生的信號，經混波器後得等於兩者之差的中間頻率信號（通常圖像所用的頻率爲 45.75 百萬赫）。音響與視頻的中間頻率信號，經數級中間頻率放大器放大，然後才加在視頻檢波器上。

視頻檢波器有兩種作用：(1)視頻檢波器可將視頻信號解調（檢波），這也與調幅無線電接收機的檢波一樣；(2)將音響中間頻率信號與視頻中間頻率信號分開。由於音響信號頻率與視頻信號頻率相差 4.5 百萬赫，所以可藉拍頻（外差）方式，將調頻音響中間頻率信號與調幅合成視頻中間頻率信號分開。同時由於檢波器的非直線型特性，所以可使拍頻作用自動完成。拍頻方式所得調頻 4.5百萬赫的差頻，就是音響中間頻率信

號。檢波器的輸出濾波電路，將4.5百萬赫音響中間頻率信號，從已解調（已檢波）視頻信號中分離出。

音響中間頻率信號送到電視機的音響系統部分，關於音響系統部分完全與調頻廣播用接收機相同。音響信號連續經過數級中間頻率放大器，限制器及鑑頻器（或比率檢波器），然後再經一級或兩級聲頻放大器，就可送到揚聲器。

由視頻檢波器輸出的已解調合成視頻信號，則送到電視接收機的視頻系統部分。視頻信號先經視頻信號放大器放大，然後藉電子束重新將畫面顯示於收像管或映像管（*kinescope*）上。同時合成視頻信號也送到一個同步分離器（*separator*），將同步信號從合成視頻信號中分出。然後同步信號加在電子束偏向電路上，使組成影像的收像管電子束與發射機的掃描器同步。

圖 13—334 所示以及上述電視接收機，通稱互載波（*intercarrier*）式，這是由於音響中間頻率信號是藉視頻載波與音響載波間的拍頻（外差）方式而得。另外有一種老式的電視接收機，稱爲分音式接收機（*split-sound receiver*），其音響信號在電視接收機的混波器就已被分出，然後完全單獨予以處理。這種分音式接收機已經被淘汰了。

【電視低頻段】（Low T.V. band）

從 54MC 至 88MC。包括 2 個至 6 個波道。

【電視校準產生器】（Complete television alignment generator）

對電視接收機的射放級及中放級的校準工作，通常用示波器來觀察其響應曲線，但必須有一個掃描產生器來描出曲線，一個標誌產生器供應一合適的頻率標誌，將掃描產生器及標誌產生器同裝一起，稱電視校準產生器。

【電視接收機】（Television receiver）

接收電視廣播的設備稱爲電視接收機，其中包括接收圖像與聲音的設備。接收機內有一隻顯像管，管上的螢光幕露出在接收機的正面。觀看者可以在螢光幕上看到電視臺播出的節目，像看有聲電影一樣。

電視接收機的構造相當複雜，其主要設備如下：

1. 像頻信號接收機
2. 影像復合裝置
3. 影像復合振盪器的同步裝置
4. 顯影設備
5. 聲音部分接收機
6. 各電子管的電源設備

參閱"電視（*Television* ；*T.V.*）"條。

【電視發射機】（Television transmitter）

能發出射頻包括聲頻、像頻及同期信號的發射機。

參閱"電視（*Television* ；*T.V.*）"條。

【電視電話】（Video telephone）

是由一個普通電話機和一部電視收發設備（包括一組攝影機及顯影機）組成。當雙方取起話筒，應答電話時，同時能在顯影機上看到對方面貌及說話表情。講話時，一定要面向攝影機，才能使對方看到面貌。不用電視收發設備時，可利用開關關閉之。電視電話目前尚未被廣泛採用。

【電視幕矩光像】（Raster）

在電視接收管屏幕上當沒有調制時可以看見的掃描行，這些行組成一個亮度均勻的長方形，預定掃描模型固定佔有的面積。

【電視機之像點】（T.V. image point）

彩色電視機所顯出的像是由綠、紅和藍紫色點所合成。你只須用一放大鏡或四方聚光線 47 觀看彩色電視，即可證明。特別明顯是看白色

圖片的部分時爲甚，這是一種加色的光線混合：不論正是一件白色襯衣在彩色圖片顯出或只是黑白圖片在一彩色電視機影片，這些像總是由紅色、綠色和藍紫色的點所構成，而在圖 13— 335 用 *rt*,*gn* 和 *bl* 等標誌表示的。

這些色點是當作微細，有規則的色網在整個像屏上顯出，正如右圖由一前面觀察的像管映出的相同。

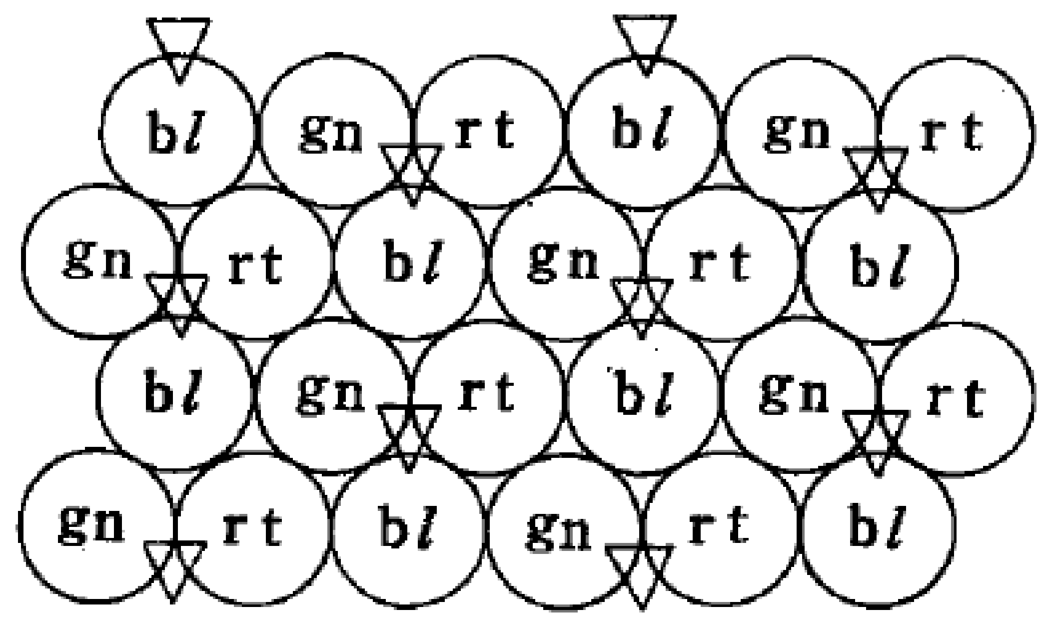


圖 13— 335

這些在彩色電視機所看見的不同彩色是由各不同光暗的各彩色點所構成。譬如在像片上現出深黃色，那亮出紅色和綠色點，而藍紫色點是較深。

由正常眼睛的觀察距離，則對於這單獨的色點不能分辨，因此幾乎三種色點合成爲單獨一像點。在上圖指出的像點所屬的三色點是以一三角形連接作記號。

毗鄰的像點亦交互越過，因爲毗鄰像點的色點距離亦不比像點本身的色點大。

光學器材箱蓋上的三件元色片與彩色電視機的三種色點相符，但是放大畫出。當色點在電視機像屏上彼此分離時，閃爍顯耀。

再則在一種黑白電視機接收器的照像管，它的像屏上的發光點亦不是單色的，你可以用放大鏡確定之。這裏有許多藍紫色和黃色點的混合光線。這些本來必須混合成白色光，但看起來有些是藍色，因爲藍紫色小點佔大多數。一種黑白像管的發光點不比彩色電視的像管有排列規則。

【電視攝像管】(T.V. iconoscope)

視頻信號從電視發射機到電視接收機的收像管，這段長距離傳播的

起點，就是電視攝像管。攝像管必須將所攝實際景物光的影像，變爲相應電的影像。電的圖素，又必須經掃描而成視頻信號，視頻信號的瞬時大小則與各圖素亮度相對應。圖 13 — 336 所示爲一電視攝像管。

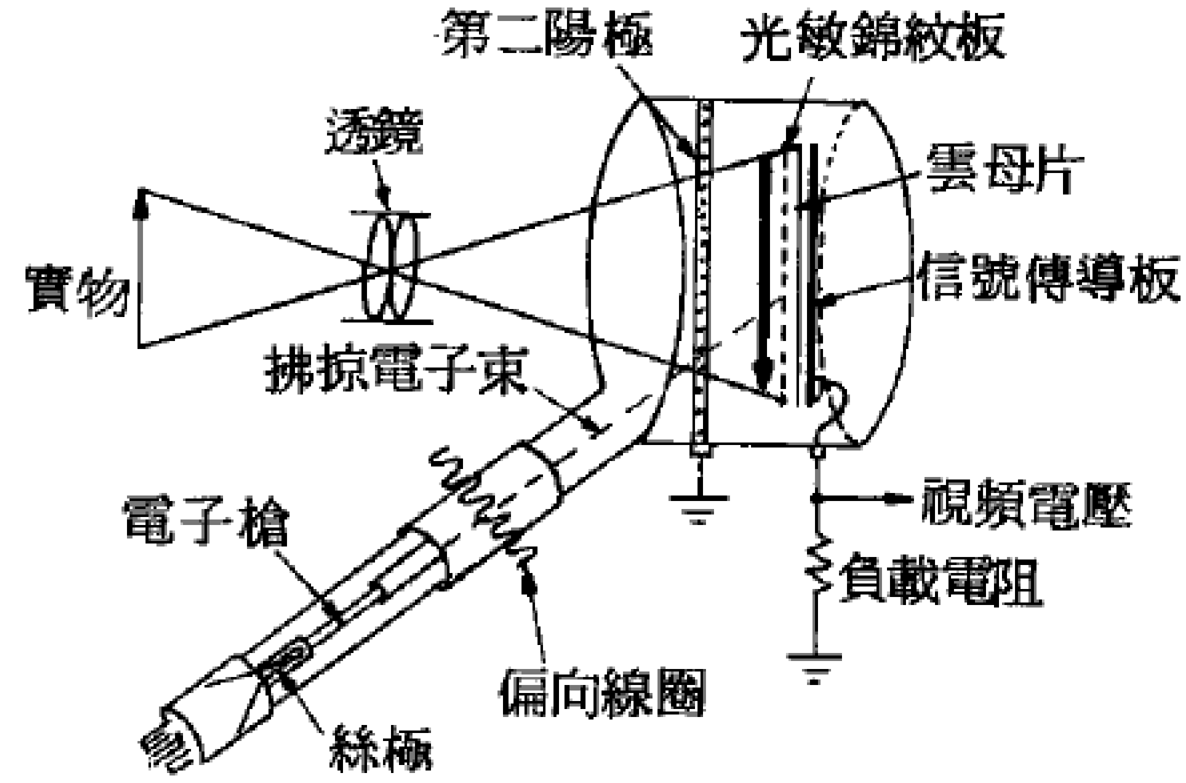


圖 13 — 336
電視光電攝像管的構造

關於電視攝像管的簡要動作敍述如下。實物（在此爲一個箭頭）的光藉透鏡，聚焦於光敏屏（*photosensitive screen*）上，光敏屏也稱爲錦紋（*mosaic*）板。錦紋板是由雲母片的一面對光敏感的細小球狀材料所構成。每一對光敏感的小球，其大小約爲千分之一吋，並且小球間藉雲母予以絕緣。雲母片的另一面，就是所謂的信號板，塗有一層導電的石墨。所以在無數感光球與雲母片另一面的塗料間，形成無數小電容器，其間的介質就是雲母。每一感光球，受光後放射電子，而對其所具的小電容器充電，充電量與所受光的強度相應。如此整個錦紋板都具有電荷，但電荷強弱的分佈，完全隨實物的光亮及陰暗的不同而變。當然也就是在錦紋板上，藉光敏感材料，而產生了從光像所變成的電像。

存在錦紋板上的電像，不可能同時整個發射出，所以必須藉掃描而得各個圖素，此所謂的掃描，就是使每個球狀小電容器，依次連續放電而已。關於掃描的動作是藉攝像管的電子槍所形成的掃描電子束達成。電子槍的作用原理，與陰極射線管的電子槍相同。電子槍具有由電極所形成的電子透鏡系統，所以能產生一個聚集得非常細的電子束。電子由第二陽極的高吸引力（1,000 伏特）而加速，使其射至錦紋板上，第二陽極是由在攝像管內層所塗的金屬環所構成，通稱爲集極環（*collector ring*）。水平及垂直偏向線圈，相互以 90 度交叉，裝在管的頸

部。因此可對電子束提供磁場，使其掃描錦紋板上的電像。掃描程序是由左至右，由上而下，每次掃描一條線。

藉掃描錦紋板，而得視頻信號的實際程序是非常複雜的，有關程序簡述如下；當掃描電子束射在每一感光球上時，因光電效應所失電子的空位，就由電子束所帶的電子予以補充。也就是電子束使光電效應所產生的正電荷中和，事實上就是使球狀小電容器放電。當放電之瞬間，有一電流流過負載電阻，其大小等於儲存在球狀光敏感材料上的正電荷數，當然也與每一圖素所代表的光度成正比。此一通過負載電阻的放電電流，就在負載電阻兩端產生一視頻電壓，然後再將電視送到各級視頻放大器。當錦紋板全部被掃描後，存於其上的電影像，就被連續變爲瞬時大小變化的視頻電壓，其電壓大小隨實物的亮度而變。

直線性光電顯像管（*image orthicon*）光電顯像管的輸出視頻電壓相當低，所以實物的亮度需相當強才可。光電顯像管現已被一個直線性光電顯像管所代替，此管對光的靈敏度很強，幾乎肉眼所能見到的任何實物，都可以被其攝取。直線性光電顯像管的高靈敏度，是由其具有數個二次放射極所構成的電子倍數器所造成。關於直線性光電顯像管的其他構造，與光電顯像管相同。另外尚有第三種攝像管，通稱爲視頻光電顯像管（*vidicon*），此攝像管較上述兩種爲簡單，所提供影像也較粗糙，通常只用於電影片的電視傳播。

【電視攝影機】（Television camera）

電視攝影機在電視中所起的作用相當於廣播中的微音器。這是影像發送環節中的第一個機件，它像照相機的鏡頭一樣，攝取需要向電視觀衆發送的東西。攝影機包含有靈敏的電視發射管，將圖像轉變成電流，又設備了鏡頭、尋像器和裝有輪子的三腳架等。

電視中心站播送室內通常都有兩個或多個攝影機在工作，這些攝影機裝在播送室內的不同地方。換接攝影機，就可以使電視觀衆從各個不

同的角度觀看舞臺。每部攝影機都經過個別的調節，然後將像信號送到切換調節放大器中，再經切換及選擇，然後送到主調裝置。

【電單極】(Electric monopole)

參閱“線型電四極 (*Linear electric quadrupole*) ”條。

【電單擺】(Electric simple pendulum)

電單擺是一種用絲絹吊起一小塑膠球的裝置，如圖13—337所示。可以判知物體是否有帶電，且所帶電荷是正或負。

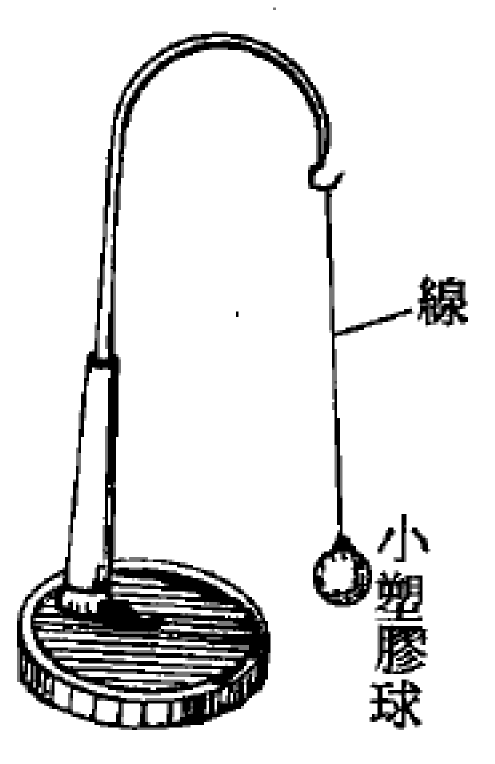


圖13—337　電單擺

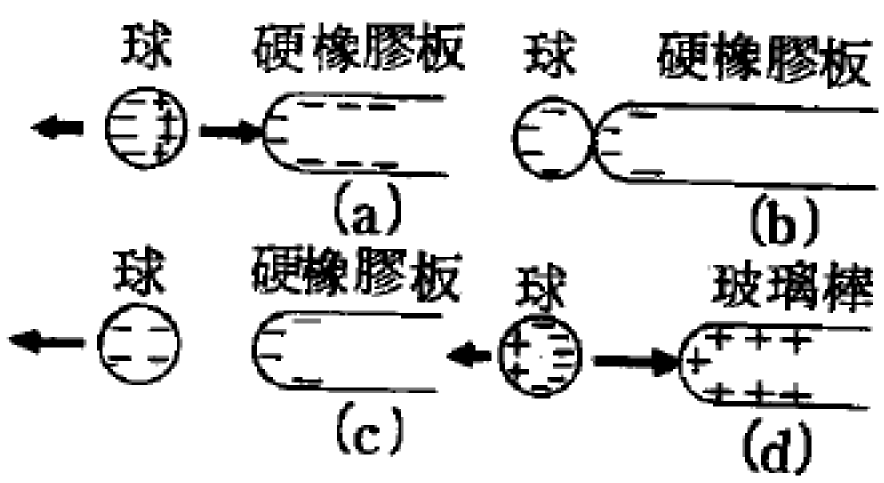


圖 13—338　電單擺的實驗

先給小塑膠球帶正電或負電，然後將帶電體移近塑膠球時，如與小塑膠球斥開，即得知帶電體所帶的電與小球所帶的同種類，如小球吸近，則表示帶電體所帶的電與小球相異。

如圖 13—338(*a*)，把帶電的硬橡膠棒接近不帶電的小球時，小球就在靠近棒這邊呈現正電，遠離棒的那邊呈負電。因此之故，棒上的負電與小球上的正電相吸，棒的負電則與小球的負電相斥。可是由於小球的正電較靠近棒的關係，相斥的力比相吸的力小，所以小球還是被吸近。

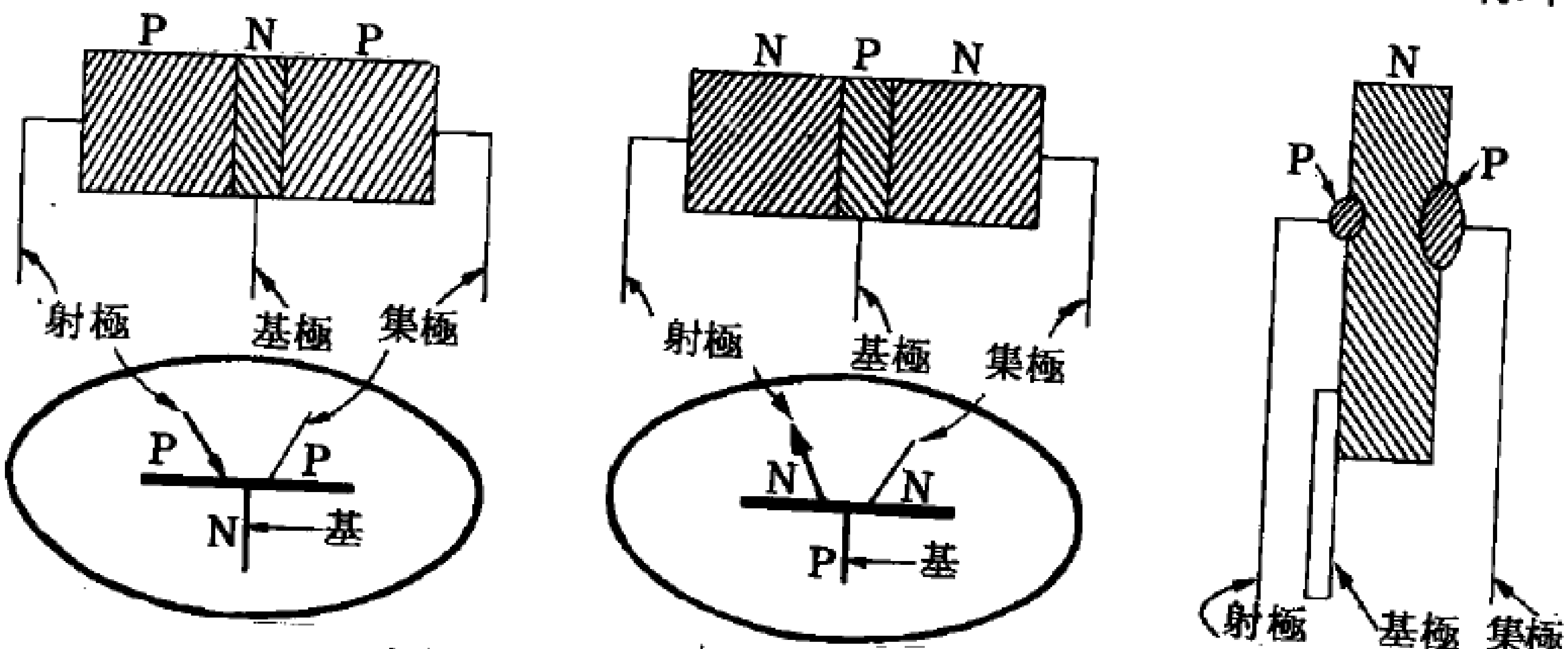
如圖 13—338(*b*)，當小球被棒吸近而相碰時，小球的正電便與棒的負電相抵銷，而只剩下負電。小球便與帶負電的棒相斥而離開，如圖13—338(*c*)所示。

如把用*P.E.* 塑膠摩擦的玻璃棒 (帶正電) 接近小球時，小球便立即被吸近。如圖 13—338(*d*)所示。

【電晶體】(Transistor)

電晶體發明於 1948 年，這是用於對半導體二極體的運用作廣泛研究的結果。基本上，電晶體是由三塊半導體構成。可以分爲P-N-P及N-P-N兩種，這是按 P 型及N型半導體的組合成電晶體的情形而分的。在三部分中，兩端分別稱爲射極和集極，中間一段很窄的部分稱爲基極。在P-N-P型中，有效的電流是電洞電流，在N-P-N型中則爲電子電流。在效用和性能上，電晶體很像三極眞空管，但在結構上並不相同。

接合式電晶體（如圖 13— 339 ）有基極、射極和集極。像半導體



(a)成長接合電晶體

(b)合金接合電晶體

圖 13 — 339
接合式電晶體的簡略構造圖

二極體一樣，它的構造亦有“成長接合”和“合金接合”二種常用的型式。在二種型式中，製造過程所得結果大致相同，生成二個P-N 接合，二者相距約數千分之一吋。其他的構造特點亦和半導體二極體的大略相同。圖形所示爲二種型式構造的主要情形。

電晶體P-N 接合，採用合金接合法，可使自動機械控制準確、製造迅速。另外一種方法是把N型鍺片的二面用電解蝕刻二個小點，直至蝕刻面間的距離約爲數萬分之一吋爲止。此後再用

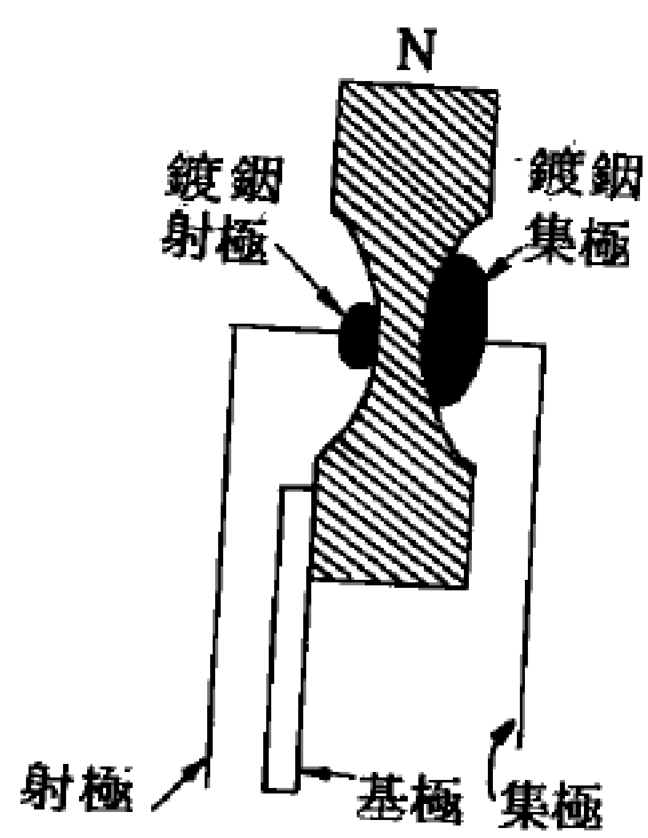


圖13 — 340 障面式電晶體

電鍍作用在二蝕刻面上鍍上二個銦小點。其結果可造成一“障面式電晶體”(*surface-barrier transistor*)。在這種電晶體中，銦集極和銦射極間僅隔數萬分之一吋的*N*型鍺。這種電晶體的工作原理，雖然需用很繁複的障面理論來說明，但爲簡單計，可以假定在銦和鍺的接合處有*P*-*N* 接合的特性，這樣便易於說明它的工作原理。

它作用原理有一部分和半導體兩極體一整流晶體的基本原理相同。*P*-*N*-*P* 電晶體每一接頭都有一電位傾度，從每一*N*型區到每一*P*型區都擁有某一電位降落。假如兩個*P*型區具有相同的內在性質，其晶體內電位的變化將如圖 13— 341 (*b*) 所示。

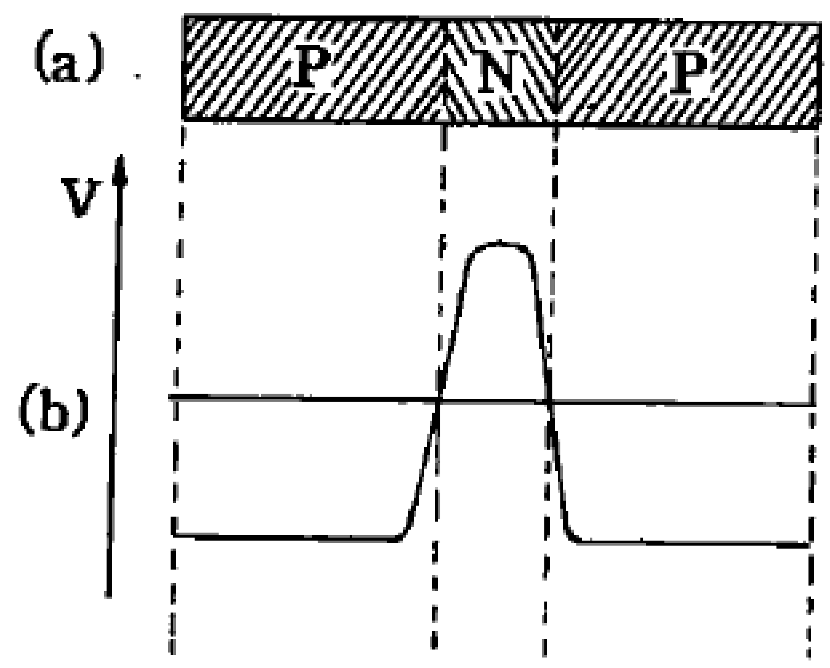


圖 13 — 341
不外加電壓的電晶體的電位分佈

把三個區域都連接到外電壓電源上，如圖 13— 342 (*a*) 所示。我們把所有的電壓都和左邊的*P*型區端點所連接的電壓相比較，定義後者爲零電位。我們稱這一端點爲發射區 (*emitter*) 。*N*型區稱爲基極區 (*base*) ，接到一很小的負電壓上。右邊的*P*型區稱爲集電區 (*collector*) ，接到一較大的負電壓上。在這情形下，整個電晶體的電位變化將如圖 13— 342 (*b*) 所示。

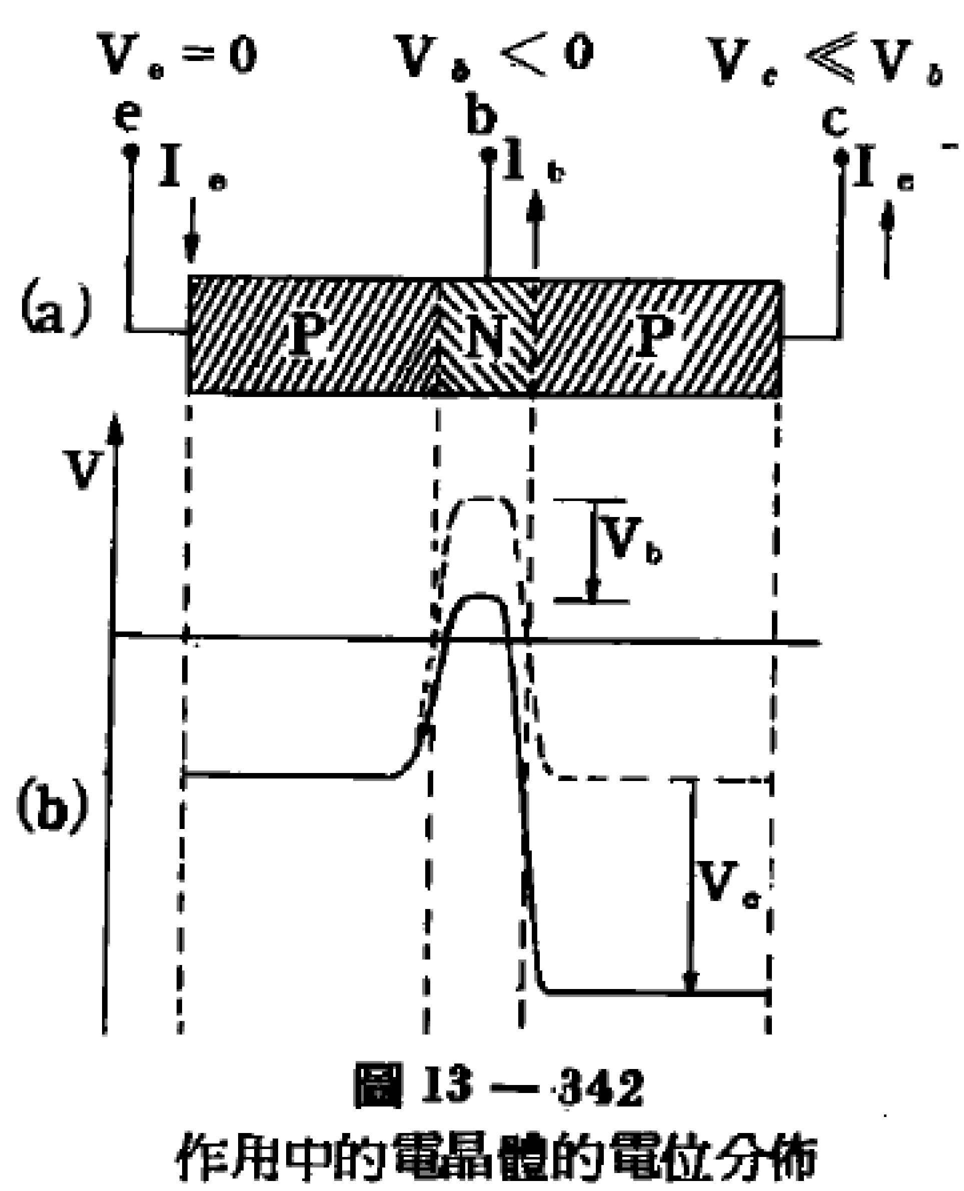


圖 13 — 342
作用中的電晶體的電位分佈

控制*P*-*N*-*P* 電晶體之作用的主要因子是正載子。因爲發射區的電位較基極區的電位略高，正載子電流將從發射區流到基極區。這電流相當大。當接頭在“前進電壓”作用下，正載子 (即空

洞）從P型區發射到N型區。N型區做得非常薄，通常約為10^{-3}公分或更小，遠較整個電晶體為小。這就是說，進入N型區的空洞有很好的機會在被此區的電子湮沒前擴散到達另一個接頭。當空洞到達N型區右面的邊界，它們遇到急速降低的電位坡，立即掉入右邊的P型區內。此晶體的右邊稱為集電區，因為它收集了從N型區擴散過來的空洞。典型的電晶體內，發射進入基極區的空洞電流大部分都被集電區所收集，只有剩下來的極小部分構成淨基極區電流。當然，基極區電流和收集區電流的和等於發射區電流。

若基極端的電位V_b有小小改變將引起發射區電流I_e相當大的變化。又因為集電端的電位V_c較基極端的電位V_b低得很多，V_b的輕微變化對於基極區和集電區間陡峭的電位坡並無顯著影響。大部分射入N型區的空洞仍將被集電區所捕獲。因此，我們改變基極的電位，集電區電流I_c將有對應的變化。然而關鍵在於基極區電流I_b永遠只是收集區電流的極小分數。因此電晶體可用做放大器；通入基極的小電流I_b可以引起100倍以上的收集區電流。

由於集電端有很大的負電位，基極區的電子必須爬上很高的電位坡，故其機率很小，即進入集電區的電子電流很小。另一方面，基極區內的電子很容易進入發射區內。事實上你可以預測出此方向的電子電流的大小，可和發射區進入基極區的空洞電流相比較。此一電子電流毫無用處，而且更糟的是，它增加了基極端的總電流而未能增加收集區所收集到的空洞電流，因此放大倍率減少了許多。所以設計電晶體時盡量減少從基極區到發射區的電子電流。電子電流與N_N（基極區物質的負載子密度）成正比，而空洞電流則與N_P（發射區物質的正載子密度）成正比。利用相當微量侵染的N型物質做為基極區，N_N（基極區）可以做成遠小於N_P（發射區）。基極區做成很薄也有極大的幫助，因為如此集電區能把基極區內的空洞迅速掃除，使得發射區發射入基極區的空洞

電流大量增加，而電子電流仍保持不變。總之，我們可以使發射區和基極區間的電子電流遠小於空洞電流，以至於在*P-N-P*電晶體的作用中，電子不扮演任何重要的角色。電流主要仍是由空洞的運動所產生，因此如前所述，電晶體可用作放大器。

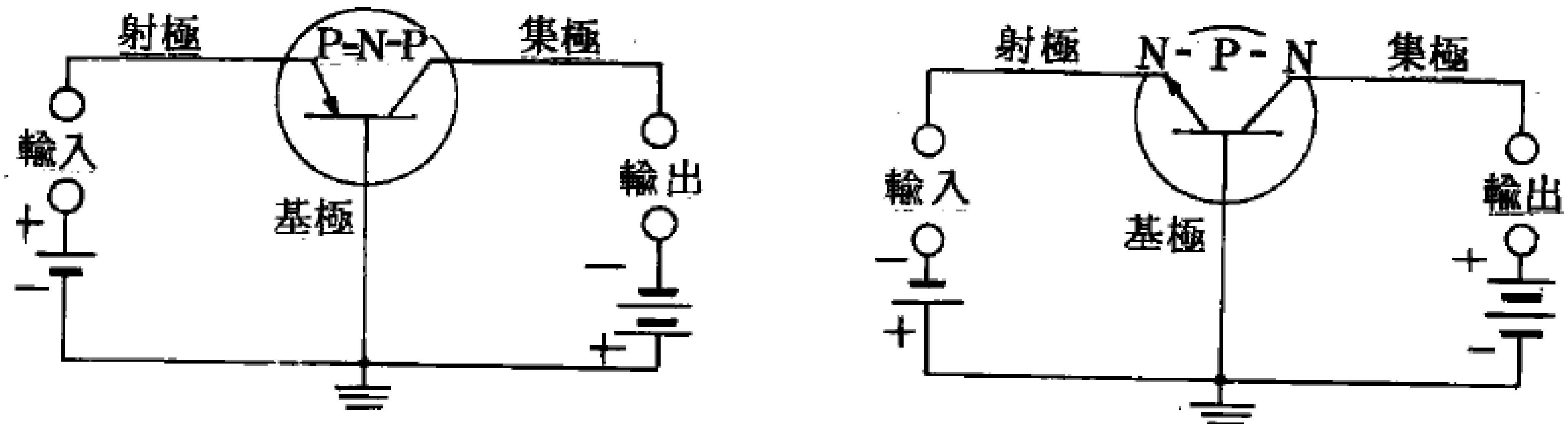
把圖 13—341 中的*P*型區和*N*型區互換也可以做成另一類的電晶體；稱爲*N-P-N*電晶體。在*N-P-N*電晶體中，主要電流是由電子所攜帶，電子從發射區進入基極區，再從基極區到達集電區。顯然上述對於*P-N-P*電晶體的討論只要把各電極的電位變號，就可適用於*N-P-N*電晶體。

電晶體具有眞空管的整流、檢波和放大等作用。當電晶體作成放大器，有三種基本電路連接法可資應用（圖 13—343）。第一種是共基極電路（*common-base*），信號由射極輸入。第二種是共射極電路（*common-emitter*），信號由基極輸入。第三種則是共集極電路（*common-collector*），信號由基極輸入。以上所說的三種連接電路，都有其各自的優點與特殊限制。

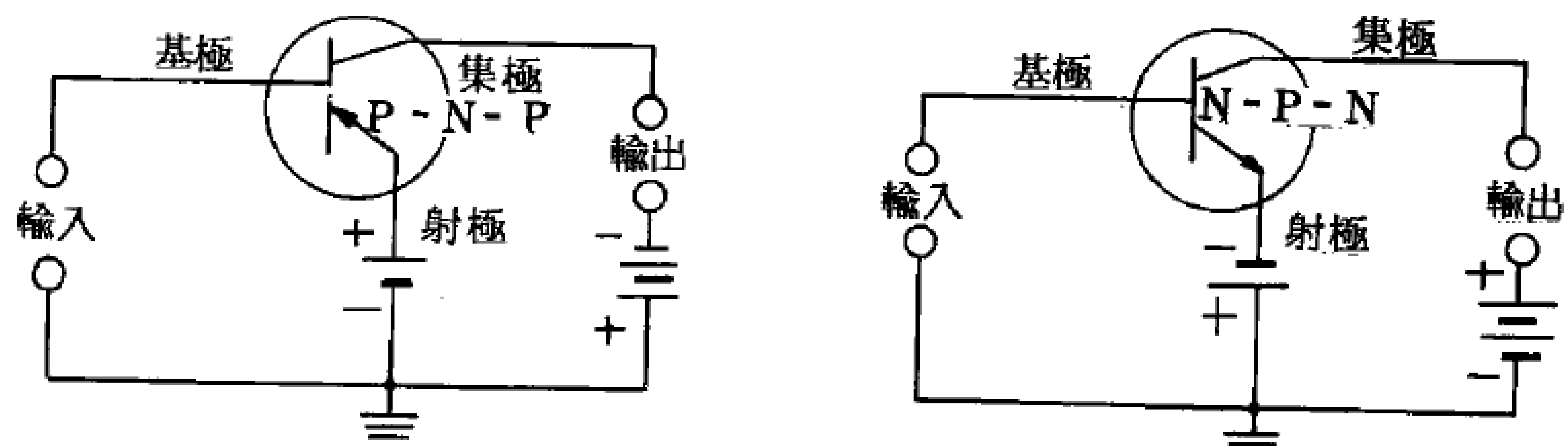
任何一種電路連接法，射極一定是順向偏壓，而集極定是逆向偏壓。對於*P-N-P*電晶體，加在射極一定是電池的負極。而*N-P-N*電晶體加偏壓的極性，正好與*P-N-P*電晶體者相反。除了外加偏壓的極性不同外，*P-N-P*電晶體與*N-P-N*電晶體的電路連接法，都完全相同。

在圖 13—343 的各接線法中，可將電晶體之射極當作三極電子管的陰極看，集極當作屏極看，而基極當作控制柵看。圖 13—343 (*a*)的共基極接線，則可看作三極管的柵極接地電路（*grounded-grid tube circuit*）。此電路的輸入電阻非常小，而輸出電阻較大，而其電流增益（*current gain*）α 則小於 1。電流增益雖小，但此接線法所提供的電壓增益與功率增益是值得重視的。

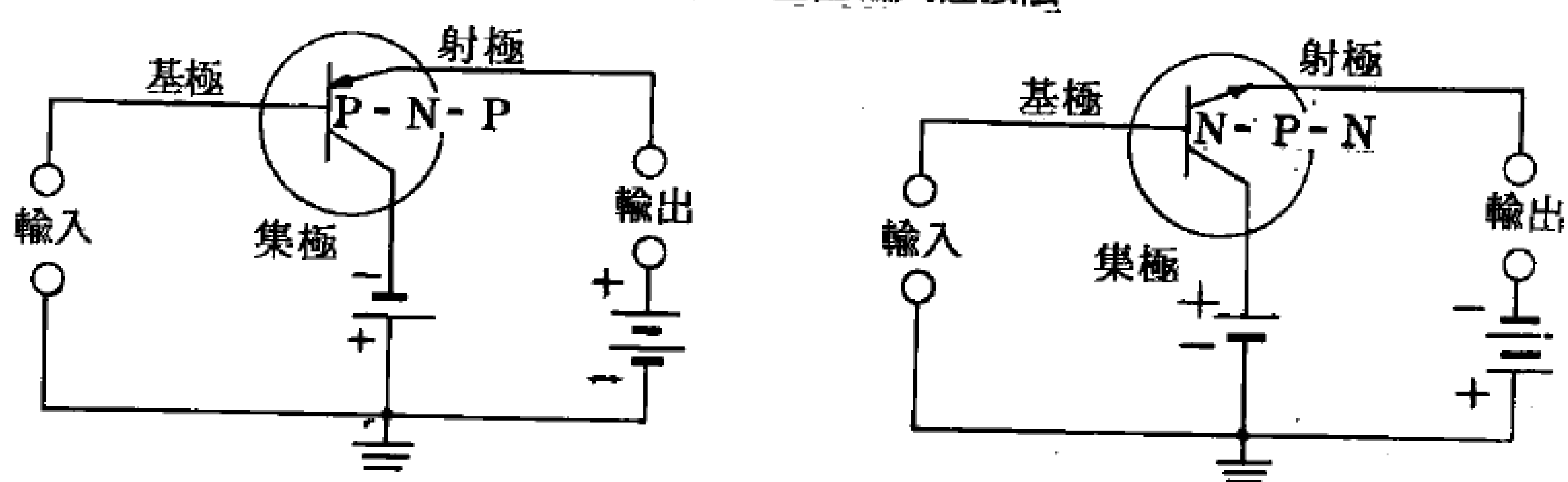
共射極電路（圖 13－343(*b*)）與三極管的陰極接地線路（*grounded-cathode circuit*）相類似。同時此共射極電路在三種連接法中，



(a) 共基極、射極輸入連接法



(b) 共射極、基極輸入連接法



(c) 共集極、基極輸入連接法

圖 13－343

電晶體放大器電路的連接法

是最具有彈性及應用最廣的一種連接線路。共射極電路的輸入電阻較大，其輸出電阻比共基極電路的輸出電阻稍小。再者，共射極電路的電壓輸出和功率輸出，在三種接線中，是最大的。像電子管的陰極接地電路一樣，共射極接線的輸入信號與輸出信號間，相位相差 180度。但其他兩種電晶體電路接線，輸入與輸出信號均無 180度相位差的發生。

共集極電路與電子管的屏極接地電路（ *grounded-plate circuit* ）相當。屏極接地電路就是陰極耦合器（ *cathode follower* ），其動作原理將在以後討論。共集極電路的輸入電阻相當大，輸出電阻反而相當低，電流增益 α 與共基極電路大約相同。因此共集電路的電壓增益，與電子管的陰極耦合器一樣是小於 1 。共集極電路多，用作阻抗匹配（ *impedance matching* ），以及作緩衝級（ *buffer stage* ）用等。

電晶體的動作特性與電子管一樣，可由其特性曲線決定。圖 13—344是N-P-N電晶體之射極特性曲線。在集極電壓V_c， 保持一定時，射極電流 I_e 是射極與基極間電壓V_e 之函數。

從圖 13— 344 得知，射極特性曲線和電子管屏極特性曲線有很多相似之處。如射極電壓V_e 有微小的變化， 射極電流將有一很大的相應變化，射極電壓未達0.1伏特，射極電流既已增至數毫安培。再者，射極電流的變化幾與集極電壓（ V_c 一集極與基極間的電壓）無關，但從圖 13— 344 中V_c ＝ 0伏特之曲線與V_c ＝ 40 伏特曲線並非完全平行，可知兩者仍多少有所關連。最主要的一點，就是微小的射極電壓，可使電晶體產生很大的射極電流。換言之，微小的輸入信號變化，即能產生很大的射極電流變化，也可說是電晶體的輸入電阻（ *input resistance* ）很小，雖然輸入信號電壓小，但輸入信號電壓被輸入電阻除後，所得的商（射極電流）則相當大。

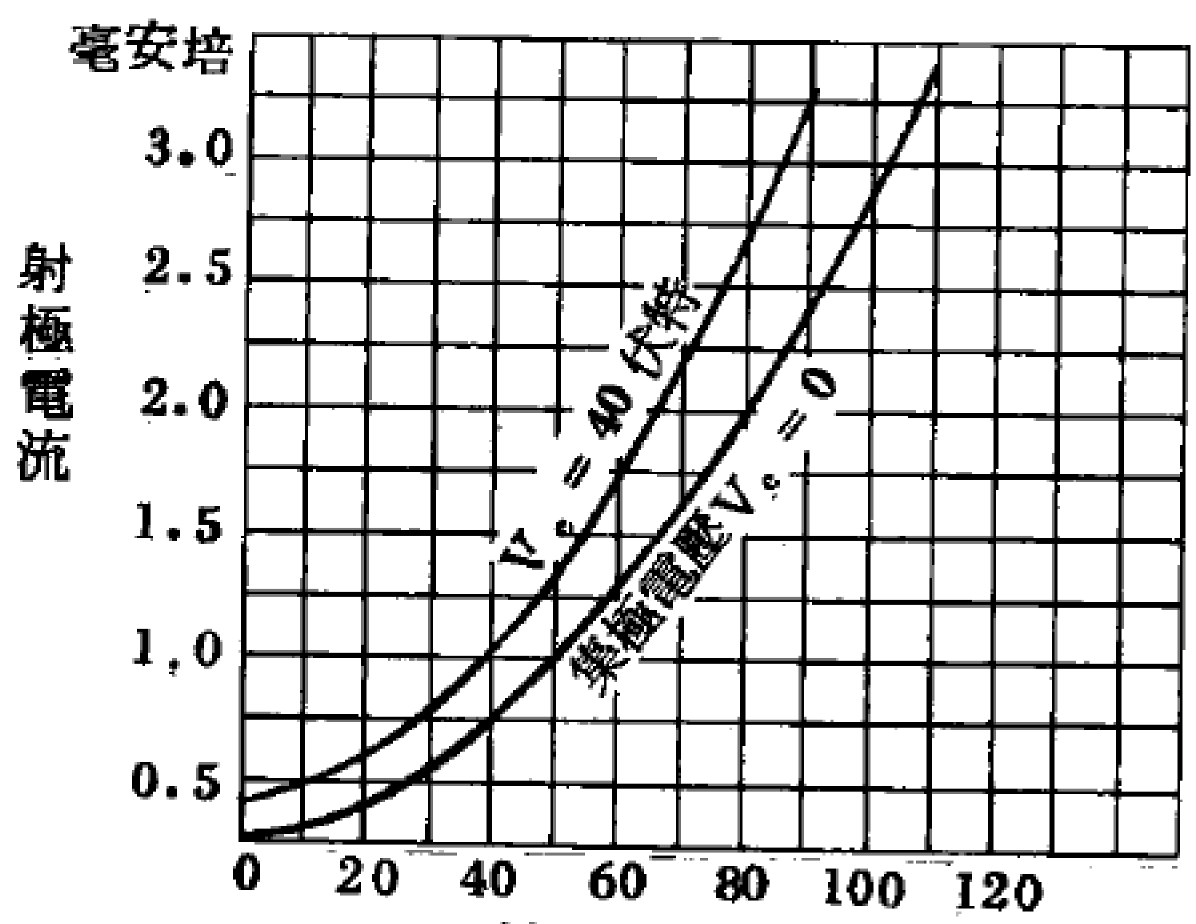


圖 13 — 344
N－P－N接合電晶體的射極特性曲線

關於同樣N-P-N電晶體的集極特性曲線（集極電壓與集極電流間

的關係曲線），示於圖 13－345 中。電晶體集極特性曲線與五極管的屏極特性曲線相似。兩者之主要不同點是，電晶體特性曲線中之集極電流幾乎是一定值，不受集極電壓變化的影響，也就是曲線幾乎與橫軸坐標平行。

圖 13－345 中，每一條曲線都表示在一定的射極電流 I_e 下，集極電流 I_c 隨集極電壓 V_c 變化而得的電流值。但由圖13－345可知，幾乎集極電流 I_c 的變化，皆發生於低集極電壓 V_c 範圍內。一旦集極電壓 V_c 升到 1 到 2 伏特以上時，集極就已將所有由射極經基極擴散來的電荷載子完全吸引，因此集極電流之大小在實際上是與外加集極電壓 V_c 的繼續增大無關。同時從圖中可以看出，每一曲線表示的射極電流 I_e 值與其相應的集極電流 I_c 值相差無幾，特別是當集極電壓 V_c 相當大之後，集極電流值與射極電流值愈趨於相等。以前曾提到，由於一小部分電荷載子經過基極時因結合而消失，所以集極電流 I_c 值與射極電流 I_e 值不可能完全相等。所以可由圖 13－345 所示曲線上找出 α 的值，並且可看出 α 值，隨集極電壓的增加，稍有增大。

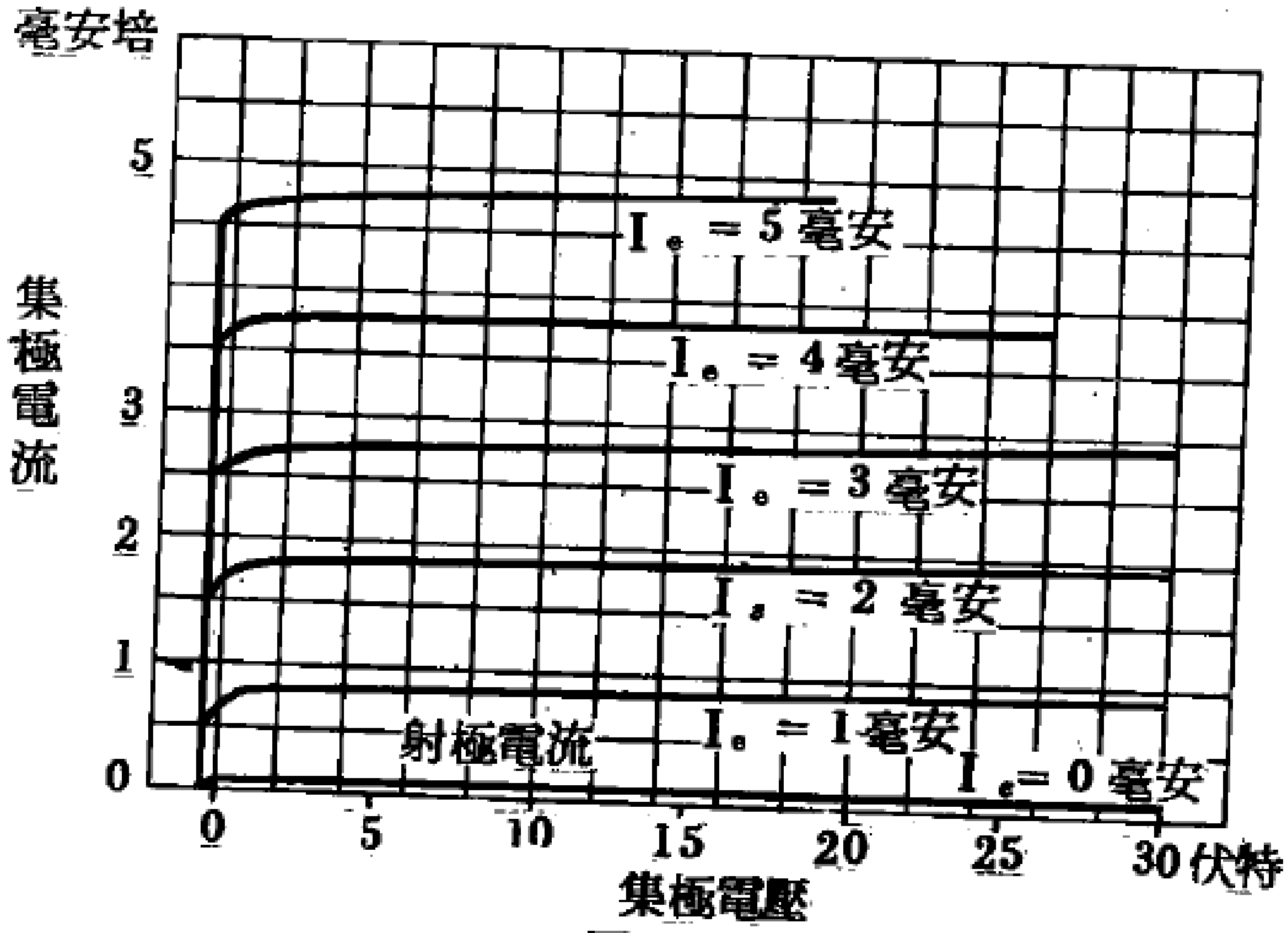


圖 13－345
N－P－N 接合電晶體的集極特性曲線

由集極特性曲線（見圖 13－345）知集極電壓（V_c）越大，其相對應的集極電流（I_c）變化就越小。這也就是說電晶體的輸出電阻（*output resistance*）非常的大。輸出電阻就是集極電壓的變化量與相對應集極電流變化量的比值。電晶體的電流放大值 α 小於 1，無電流放

大作用，但其輸出電阻非常大，所以有電壓與功率放大的可能。當一低信號電壓加於電晶體（射極）的輸入電路端，因輸入電阻非常小，所以可得一個相當大的射極電流。幾乎與射極電流同樣大小（因α小於1，但幾乎等於1）的集極電流需流經一非常大的輸出電阻（輸出集極電路），很顯然的輸出的電壓與輸出功率都會比輸入電壓與輸入功率大很多。

電晶體有下列幾個優點：

1. 電晶體的體積極小，它的大小可從小號的花生管起小至不及其四分之一的大小。這樣小的體積可使裝備小型化，這一點在娛樂和工業上可增加很多方便，在軍事應用方面，尤屬重要。

2. 電晶體本能的具有長期使用而不致損壞的工作特性。而眞空管卻無此特性。

3. 電晶體的功率消耗遠小於眞空管。原因是電晶體毋需用加熱的陰極，但這在眞空管是必須的。由於眞空管的陰極需加熱，所以凡屬用眞空管的裝備都需要大量的功率。由於用眞空管的裝備需要較大的功率，所以用電池供電的眞空管裝備很難能夠長期工作。但同樣的裝備，如改用電晶體，不但能造得更小更輕，且它的工作時間可以增加至五倍左右。

4. 電晶體所需B^+電壓頗低，約自10至75伏特，但眞空管所需者則自75至350伏特。用這樣低的電壓可以減少濾波設備，交流聲隔離，以及電源電壓的額定需要量。較低的絕緣需要，可使R、L、C等配件的大小遠較用於眞空管裝置者爲小，這樣可使電晶體裝備小型化。

5. 當電晶體能大量生產達到目前眞空管的生產水準時，則售價預計可低於眞空管的售價。

6. 電晶體電路比眞空管電路爲簡單，且所需配件亦較少。這一特點，再加上電晶體電路所用配件小，所需功率低，可使超小型裝備，以

及大型裝備系統中的超小型基本組件得以造成。由於大量生產可使這種基本組件的成本減低，而作簡化裝備的維護工作。使得裝備中的某一完整部分能很迅速而經濟的更換，無須使用以往遲緩而浪費的步驟去找尋故障所在，然後再將配件更換。

使用電晶體應注意下列幾點：

(1)除非電晶體爲防水密封式，不應用於（或儲藏於）潮濕之處。

(2)不可投擲電晶體，使受不必要的機械震動。雖然電晶體在裝備中能忍受強烈的震動和振盪，但粗心的使用常會增加更大的機械應變。

(3)有些半導體構造對光線很敏感。它們雖可裝於透明的匣中，但這並非是指它們曝露於強光下而不致損壞。如必須使用於強光下，應該用黑膠帶或其他合適的材料來包裹，以隔離強烈的光線。

(4)在把電晶體接上電路前，須查閱廠家的數據頁，以確定射極、基極和集極。查對偏壓和其他工作條件，確認在電路中並未超過最高限度。

(5)在接上或拆除電晶體接線時，須先把電源除去。這種預防不但使你個人安全，並可保護電晶體不致損壞。把電壓先加於一個或二個接端，亦可把電晶體損壞。

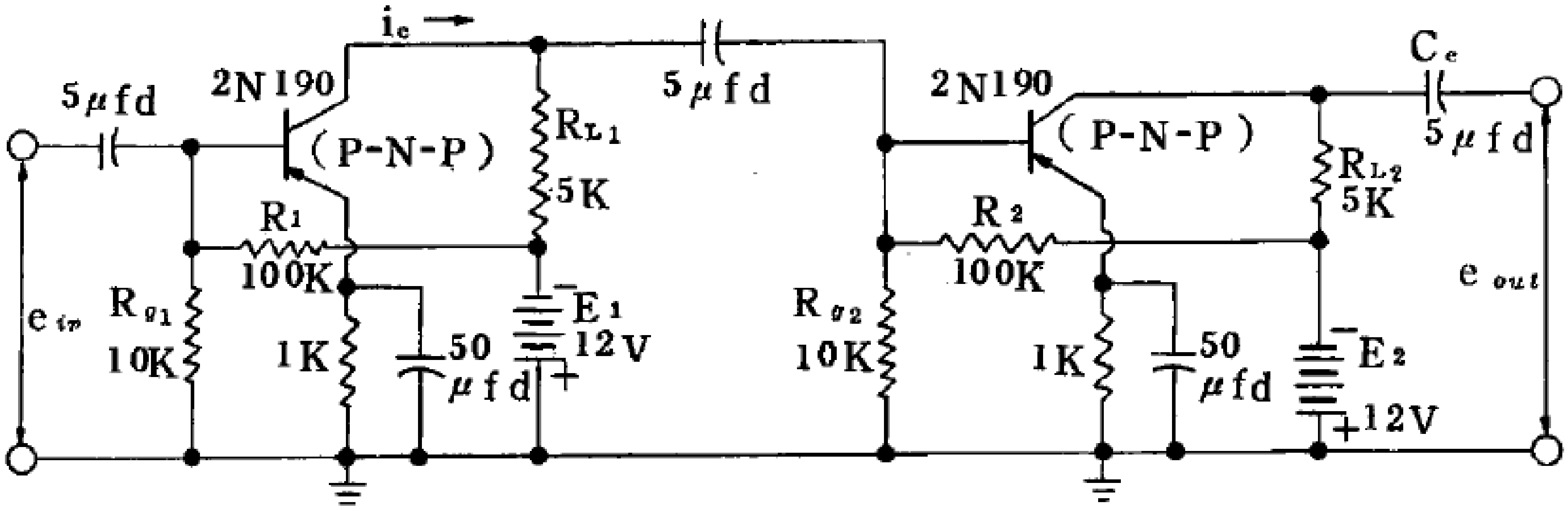
(6)把電晶體接上電路前，須檢查偏壓的大小和極性。因在事前電路如有變化，可能會使加於電晶體的偏壓不正確或超額。

(7)在未經事前檢查的電路中，如突然把電壓加上，很可能會使電晶體損壞。如電路中裝有可以增減偏壓的調節器，則接上電晶體前，須調整調節器使偏壓爲零。電路接通後，然後再增加偏壓至所需工作點。

(8)千萬要記住，電晶體對熱是敏感的。不要把電晶體放置熱的地方，或靠近電路中發熱部分。把電晶體焊上電路時，應該使用鴨嘴鉗，或其他有較大握柄的鉗子，這樣可使焊接線上的熱量能發散，而不致傳至電晶體本身。

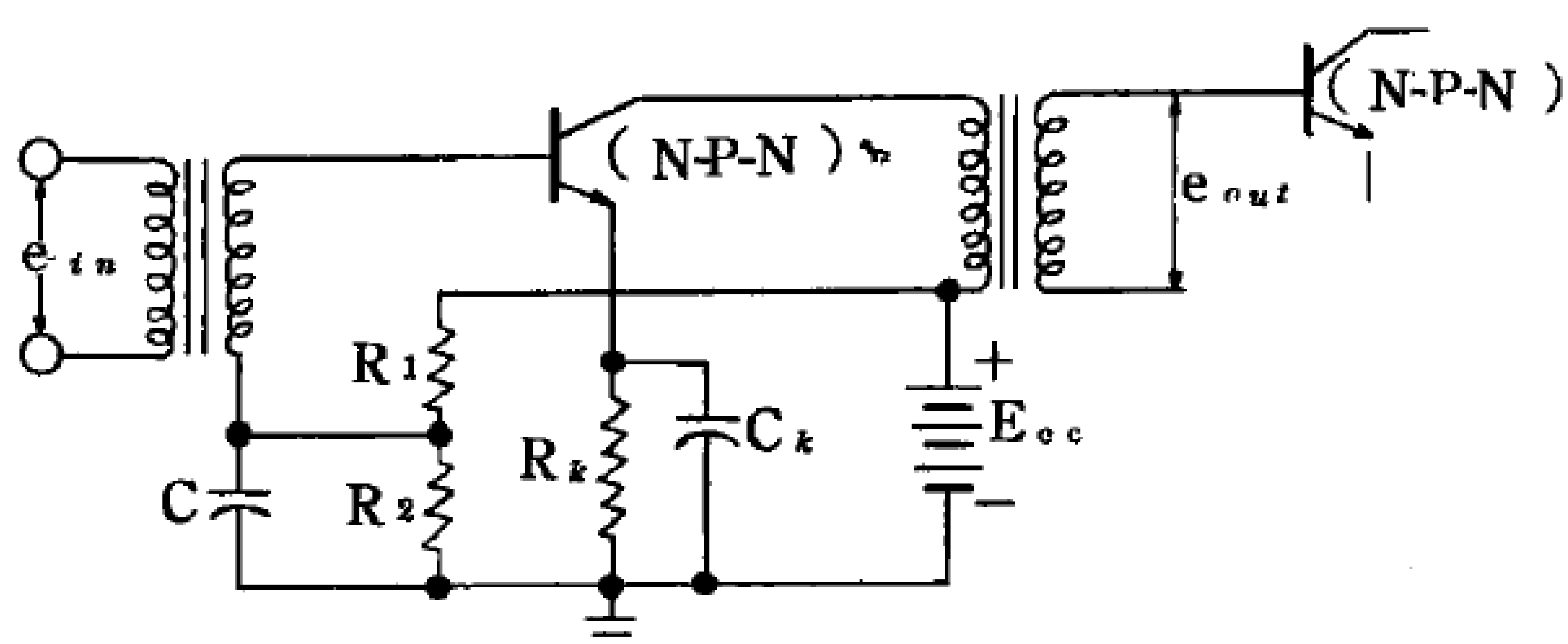
【電晶體放大器】(Transistor amplifier)

電晶體聲頻放大器取代電子管放大器的地位。圖 13 — 346(*a*) 爲一二級電阻耦合電晶體放大器；圖 13 — 346(*b*) 爲一變壓器耦合電晶體放大器。電晶體電路最顯明的優點是電晶體無需發熱體的電源電壓，因其



(a)兩級電阻耦合電路

無發熱體；再者，只需 6 到 12 伏特的直流電源電池，就可向整個電路提供足夠的作用電壓，因此非常的經濟。



(b)變壓器耦合電路

圖 13 — 346　電晶體放大器

二級電阻耦合放大器是由兩個共射極電路所合成，所用的電晶體是 2*N* 190 (*P*-*N*-*P* 電晶體)，電晶體共射極電路與一般所用的陰極接地三極管放大器相似。圖 13 — 346(*a*) 所用射極與集極的偏壓方式，與電阻耦合電子管放大器不同。*P*-*N*-*P* 電晶體的射極接合需加順向偏壓，集極接合則必需加逆向偏壓。在圖 13 — 346(*a*) 的電路，其所需的偏壓及極性均由一個電池所供給，電池的伏特數已註明在圖中。射極順向偏壓由跨接於電池兩端的分壓器所提供，此分壓由電阻 R_1 及電阻 R_{g1}

所構成，電阻 R_1 及電阻 R_{g1} 的接點與電晶體的基極相連接（見圖 13 — 346放大器的第一級）。電阻 R_1 及電阻 R_{g1} 的比是 1 ： 10，因此基極的電壓比射極低 1.1伏特；反之，射極比基極高 1.1伏特，此 1.1伏特也就是射極接合所需的順向偏壓。射極電流等於射極電壓（ 1.1伏特）除以射極電阻（ 1 K = 1,000歐姆），約為 1.1／1,000 =1.1毫安培。為了防止射極電阻所造成的退化作用，所以在射極電阻上並聯了一個很大的旁路電容器，其值為 50 微法。

集極所需的逆向偏壓，是由電池的負極經負載電阻 R_{L1} 所供給。負載電阻所輸出的信號電壓，經 5 微法的耦合電容器 C_c 送至第二級放大器的基極（圖 13— 346(*a*)）。第二級的輸入信號電壓跨於電阻 R_{g2} 上，電阻 R_{g2} 也是第二級放大器分壓器的一部分（由電阻 R_{g2} 所構成的分壓器），在其他方面，第二級與第一級完全相同。從負載電阻 R_{L2} 送出的輸出電壓 e_{out}，經一耦合電容器 C_c 加在輸出器材，如揚聲器及耳機等。從圖 13— 346(*a*)的電路所得之增益為 5,000 。

圖 13 — 346(*b*) 只是變壓器耦合放大器的一個級，電路所用的電晶體為 N-P-N 式，因此集極所加的電壓為正，射極所加者為負，但得到此種偏壓的方式仍與圖 13— 346(*a*) 相同。除了變壓器二次線圈所送出的輸入信號電流，經一旁路電容 C 回地外，其他方面與變壓耦合放大器相同。在圖 13— 346(*a*)和(*b*)中所用旁路電容器及耦合電容器的值都比電子管放大器所用者大。如此在最低聲頻時，電容器（ C_c 及 C ）的容抗，方能比電晶體的電阻及電路所用的電阻小。一般來說，電晶體的電阻及電路電阻均較電子管所用的為低。

【電晶體障面】（ Transistor barrier ）

令晶體之載流者電荷密度發生變化，繼而影響施主及受主的電荷區域。

【電暈】（ Corona ）

電暈是空氣電離時發生的霧狀輝光。當空氣的靜電壓力，每吋超過53仟伏時，即發生電暈。

【電暈放電】(Corona discharge)

一爲導體球殼附近的電位和電場。絕緣導體在曲率半徑小之處（尖角）電荷密度大，曲率半徑大之處（平坦處）電荷密度小。緊鄰帶電表面處之電場E與電荷密度σ成正比，故尖銳處附近之E可達到極高之值。例如雷雨時尖端電暈放電，避雷針即用此法以中和帶電的雲層而防止雷擊。

在尖角附近表面電荷密度σ以及E可變得極大，空氣圍繞的導體升高電位時，這些尖銳之處能生電暈放電。通常均將空氣視爲非導體，但空氣中含有少數由宇宙線等所生之離子，帶正電的導體會吸引周圍空氣中的負離子而自行徐徐中和。

若帶電導體有尖角，該處附近空氣中之E可變得很高。若E甚高，則離子被吸向導體時將獲得大加速度，這些離子與空氣分子碰撞時會產生大量的離子，使空氣成爲極易導電，同時藉電暈放電而加速導體放電。因空氣分子在碰撞時會發光，在導體上尖銳處周圍空氣放電時，可見亮光。

【電暈損失】(Corona loss)

當空氣的靜電應力，每吋超過53 仟伏時，即生電暈效應。電力傳遞線(*transmission line*)距離愈長， 因電暈而造成的電能損失愈大，稱爲電暈損失。

【電源】(Source of electric energy)

把別種形式的能轉變爲電能的裝置，叫做電源。例如，火力發電廠的發電機是把熱能轉變爲電能；水力發電廠的發電機是把機械能變爲電能；電池是把化學能轉變爲電能；太陽能電池則是把太陽的輻射能變爲電能。發電機、電池、太陽能電池都是電源。

在無線電路中，供給電路信號電力的工具亦稱電源。

【電源內阻】(Internal resistance of power source)

電源內部元件所具有的電阻，決定著內壓降，因而也就決定著電源在供電的電路端子上所能產生的電壓。同時，內阻還決定著電源在短路時所能送出的最大電流。電源內阻可能是純電阻，也可能是電抗。例如原電池和蓄電池的內阻就幾乎完全是純電阻，而發電機則同時也具有電抗性內阻。在業餘無線電愛好者所應用的電源中，整流器的內阻很大，而電池組，特別是蓄電池的內阻則很小。

【電源串聯】(Cells in series)

原電池、蓄電池、發電機等的串聯，目的是要獲得大於一個電源所能供應的電勢。電源串聯時，其總電勢等於各單獨電源電勢之和，其總內阻亦等於各單獨電源內阻之和。

【電源阻抗】(Source impedance)

指信號電源出現的阻抗，該阻抗值減低，電壓調節有較好的效果。

【電源並聯】(Cells in parallel)

原電池、蓄電池、發電機等的並聯。並聯是用來減少電勢的電源內阻 (目的是要減少電源內部的電壓降落)。如果是原電池與蓄電池，並聯還可以延長電池的放電時間。所有並聯在一起的電源所產生的電勢應當相等，否則在電源之間將會產生電流，由較大電勢的電源流向較小電勢的電源。

【電源供應器】(Power supplier)

在電子學中，動力供應是一種電路或裝置，可使主電力變為各種電子電路所需的交流電或直流電。這種動力供應稱為電源供應器或簡稱電源。

不同型式的電子設備，例如放大器、振盪器、發射機和接收機等，都有不同型式的真空管電路，要使這種電路工作，一定需要某種交流和

直流電的供給。除了若干特例外，一般而言，這些眞空管電路需要約爲 350伏特的直流電和 6.3伏特的交流電。

當把電子設備插入電源插座，該插座可引出 117伏特交流電，電源供應器把這可用的線路電壓變成高直流電壓（在電子工作中叫做 B^+ 電壓）和低交流電壓。

大部分電源供應器均由變壓器、整流器及濾波器電路，有時並有電壓調整器等部分所組成。將這些部分以不同方式組合起來，可得到各種型式的電源供應器。電源供應器最主要的任務是將交流電變爲直流電。

由於各種設備性能各異，需要的直流電亦就高低不一。譬如一個電源供應器僅能供給 150毫安的直流電，若超過這一數值，電源機件可能冒煙。某種發射機需要電源供應器供給大至 5,000 或 10,000毫安的電流，而特種示波器可能需要有 10,000 伏特以上的直流電壓。

有些特種雷達電路需要電源供應器有非常好的電壓調整率，當電流變化時，電源供應器輸出的直流電壓不應超過 1 或 2 伏特的變動。

有時電源供應器需要有負的直流電壓輸出，而不需正的直流電壓輸出。有時電源供應器又需要有幾種直流正電壓和負電壓輸出。有時又需有特別小的漣波，以及其他種種。

由上可知，電源供應器有很多種的工作。

【電源電路】（Power supply circuit）

由整流器及濾波器所構成的完整直流電源電路。圖 13— 347 是一個品質非常優良的電源電路，此種電路可經常在傳眞度高的接收機或放大器中發現，其外加電源爲 117伏特。

圖 13— 347 電源電路含有一個全波整流器，及兩個串聯在一起的濾波器。所用的兩個二極管，放在同一管內，其管號爲 5*U* 4*G*全波整流電子管，此管可能供給的最大直流電流，約爲 200毫安培。升壓變壓器有四個二次線圈：均方根值爲 800伏特的二次線圈，此電壓向整流器

的屏極提供電壓用；輸出5伏特的二次線圈，向整流器熱絲極提供電壓用；另外兩個二次線圈的輸出爲6.3伏特，作直接供給其他電子管的電壓用。當無負載時，由於輸入到整流器兩屏極間的交流電壓爲800伏特，從理論上說，濾波器的第一個電容器經充電後，

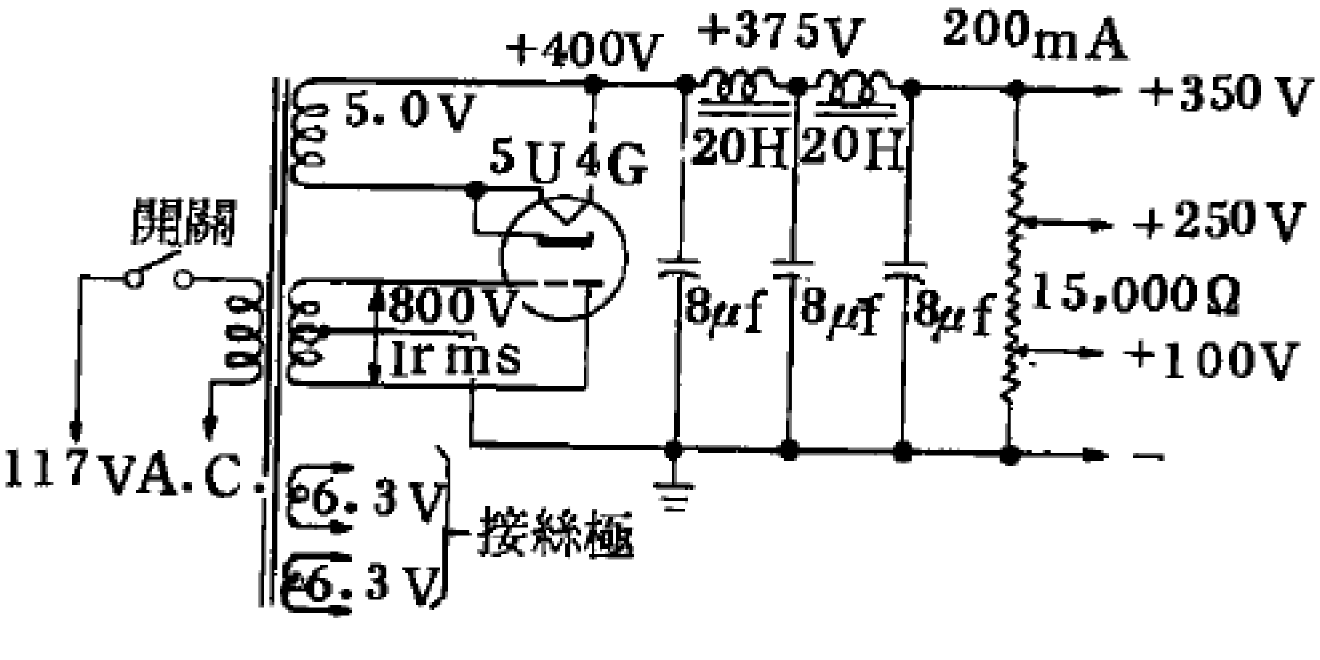


圖 13 — 347　整流電源

其端電壓應爲均方根值800伏特電壓峯值的一半，約爲565伏特。如果作用於最大負載電流200毫安培時，在濾波器輸入端的整流器輸出電壓，降爲400伏特，這是因爲電子管及變壓器線圈產生損失所造成的。由於兩個抗流圈又有損失，所以在濾波器輸出端所輸出的電壓，再下降爲350伏特。此350伏特或許可加在最後一級聲頻功率放大器電子管的屏極。而濾波器輸出分壓器所分出的250伏特及100伏特（圖13—347）可供其他各級放大器的屏極及簾柵電壓之用。有時分壓器上，另外再加一輸出接頭，以便供給負偏壓。電壓分壓器的最低負載電流（洩放電流）爲23毫安。

圖13—347所用的濾波器，是由兩個相同的電容器輸入濾波器所合成，其抗流圈的電感爲20亨， 電容器的值爲8微法，所以效果極佳。此濾波器輸出電壓所含的漣波，約爲直流輸出電壓的0.01％，也就是約爲0.035伏特（350 × 0.0001 = 0.035伏特）。

【電源變壓器】（Power transformer）

指從交流電網給無線電接收機、放大器及其他裝置供電的變壓器。

在各種不同型式的電源變壓器中，應用最廣的是具有數個線圈的組合電源變壓器，用來供給無線電接收機或放大器的全部電源。在大多數情況下，這種變壓器有四個線圈：初級線圈（接入於交流電源的電源線

圈）；升壓線圈（用來給屏極電路供電）；兩個降壓線圈（供給二級整流管的絲極及電子管燈絲電源）。

假若電源變壓器有裕餘的功率時，可使本來沒有初級抽頭的電流變壓器，具有自耦變壓器調壓的功用。

通常在電源變壓器鐵芯窗口中有多餘的地方，其中可以放一個附加線圈，它用0.35～0.5的漆包線繞80～100圈而成（根據變壓器的功率）。繞這個線圈，可以不必拆開變壓器鐵芯，只要截一段必要長度的漆包線繞在變壓器線圈的外面。作法是經過鐵芯窗口的空隙把漆包線的一端穿出穿進就可。線圈各圈應繞得緊密些。

附加線圈與變壓器的初級線圈串聯，但要使得這二線圈的電動勢彼此相反。這就等於減少了初級線圈的有效線圈數，並且相應地提高了電源變壓器所有次級線圈的電壓。如果從附加線圈上作三個抽頭並將其接到轉換開關上，那麼收音機電源變壓器的次級電壓不必應用單獨的自耦變壓器就可以得到調節。

【電靶】（Target）

射線管之電子碰擊電靶時，靶上之螢光幕卽生輝光作用，電靶卽成綠色光圈。

【電煉】（Electro-metallurgy）

以含有雜質之金屬作正極，利用電解作用，在負極可得純淨之金屬。

【電勢】（Electric potential）

在電場中具有勢能。假如一個小的電荷q'從很遠的距離，由外力F的作用帶到和一個點電荷q相距r之處，則外力對q'所做的功爲$W=\frac{qq'}{r}$，相當於q'獲得qq'/r的勢能。每單位電荷的勢能稱爲靜電勢（*electrostatic potential*），$V=W/q'$。一個單位電荷在某點上的勢能（電動勢）爲$V=q/r$。

非電生電場（由電磁感應而生的電場，化學作用所生的電場等）作用於電荷的力，叫做外來電勢。作用於某段電路的電勢，和電位差一樣，是用這個電勢在單位電荷沿該段電路移動時所作的功來量度。電勢的度量單位在實用單位制中是伏特。欲維持電流，必須有電勢存在，並且一切所謂的“電源”，實質上都是電勢源，即其中可以用某種方法而產生非電生電場的設備。

設具有一些電阻的導線和電池相聯組成一個電路。在電池內部，由於化學反應的結果，便有電勢發生作用，它使正電荷聚積於電池的一個極，而使負電荷移向於另一極。當電荷的電場平衡了作用於電池內的非電生電場時，也就是當電位差（由兩極電荷所生成）等於作用於電池內的電勢時，電荷就不再運動。這就說明開路電池的兩極之間存在著等於電池電勢的電位差。現在將電池的兩極用導線聯接起來。電池極上聚積起來了的電荷便在這個導線中產生電場，在此場的作用下，導體內就發生電流。倘若電池裏面沒有電勢，則極上聚積起來了的電荷便很快地流過導線，導線中的電場於是消失，其中的電流也就會停止流通。但如有電勢存在，當電荷從電極流入外電路以後，在電勢的作用下，就有新的電子，源源不斷地流到電極，也就是電勢維持著電池兩極之間的電位差及電路之內的電流。假如電池沒有內阻，則電勢時刻維持著兩極上的電位差等於電勢。但因為任何電池都具有內阻，所以一部分電勢便用於克服內阻（使電荷沿具有電阻的導體而運動，電力應當耗功）。因此電極上的電位差將小於電勢，其所小之量等於用於單位電荷以克服內阻之功，亦即等於內部電壓降的大小。當內阻越大及電流強度越大時，內部電壓降便越大，就是說電池兩極間的電位差便越小。由此可見，電勢的作用就在於推動電荷，使它們在電池內從負極流到正極，即逆著由電極上聚積的電荷所產生的電場力而運動。因為電荷電場是位場，所以當運動於電路中的電荷走完整個閉合電路，即走過閉合途徑時，這個電場力所

作的功應當等於零。非電生電場是非位場，所以這個電場力沿閉合途徑的功不等於零。這個電場的力卽電勢，作出全部用於維持電路中電流的功。

【電勢降落】(Drop of potential)

卽電位降落。電流通過某一零件所降的電壓，也就是電流通過電阻時，降去電源之電壓值。可由該電阻值乘以通過的電流值乘積而得。

參閱“電位降落 (*Potential of drop*) ”條。

【電勢差】(Difference of electric potential)

兩點或兩帶電體之電位不相同。電路中的電勢差，常由電池組或發電機所供應，電勢差是推動電流行進的原動力，此推動力的單位爲伏特 (*volt*) 。

【電感】(Inductance)

緊密纏繞線圈、螺線環或長螺線管的中央部分，電流 i 在各匝所生之通量Φ_B 皆相同。對這些線圈法拉第定律

$$\varepsilon = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$

顯示磁通匝連數 (*flux linkages*) $N\Phi_B$ 之值 (N爲匝數) 爲感應現象中之重要特性量。若一線圈附近無鐵等磁性材料，此量與電流 i 成正比，卽

$$N\Phi_B = Li \qquad (1)$$

式中比例常數 L 稱爲該物品的電感。

由法拉第定律，感應電動勢可寫爲

$$\varepsilon = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt} = -L\frac{di}{dt}$$

則電感

$$L = -\frac{\varepsilon}{di/dt} \qquad (2)$$

（2）式可視爲任何形狀及大小之線圈的電感定義方程式，無論此線圈是否爲緊密纏繞，及附近是否有鐵或其他磁性材料。這與電容的定義關係式

$$C=\frac{q}{V}$$

相類似。倘附近無鐵或類似材料，L 僅與物品的幾何形狀有關。感應器（*inductor*；符號爲 ⅏）中有磁場出現爲其重要特徵，相當於電容器中有電場出現。

由（2）式，電感的單位爲伏特秒/安培，此組合的單位特名之爲亨利（*henry*），即

1亨利＝1伏特秒/安培

利用（1）式可計算長螺線管中心附近長 l 一段的電感 L。長度爲 l 之螺線管中的磁通連數爲

$$N\Phi_B=(nl)(BA)$$

式中 n 是單位長度內的匝數，B 是螺線管內部的磁場，A 是橫截面積。

因 $$B=\mu_0 ni$$

故 $$N\Phi_B=\mu_0 n^2 li A$$

最後由（1）式得電感爲

$$L=\frac{N\Phi_B}{i}=\mu_0 n^2 lA$$

長度爲 l 之螺線管的電感與其體積（lA）及其單位長度之匝數的平方成正比，注意 L 僅與幾何因素有關。與 n^2 成正比，若單位長度之匝數增一倍，不僅總匝數 N 加倍，通過各匝之通量 Φ_B 亦加倍，磁通連數 $N\Phi_B$ 因而增加四倍，因此電感亦增加四倍。

以上所述爲電感之自感，此外尙有互感，其數學定義爲

$$M=-\frac{\varepsilon_2}{di_1/dt}$$

式中M為互感，ε 為電動勢，i 為電流，1、2代表二相鄰電路。

【電感、電容振盪】(Inductance-capacitance oscillation ; LC oscillation)

圖 13—348 所示LC系統，每系統各有一振盪的特徵頻率。假設在起初時，圖 13—348(*a*) 的電容器C帶有電荷 q_m ，而感應器上之電流 i 為零。在此瞬間，儲於電容器的能量為

$$U_E = \frac{1}{2}\frac{q_m^2}{C}$$

儲於感應器的能量為

$$U_B = \frac{1}{2}Li^2 \qquad (1)$$

因電流為零，故U_B 為零。 現電容器開始經感應器而放電，正電荷載體反時針方向移動，如圖 13— 348(*b*) 所示。這意謂在感應器中向下生一電流 i ，等於 dq/dt 。

當 q 減少時，儲於電容器的電場中之能量亦減少，因感應器中產生電流 i ，此能量轉換為磁場而出現於感應器的周圍。因此電場減小，建立磁場，能量從前者轉換至後者。

在相當於圖 13 — 348(*c*) 之時，電容器上的所有電荷均已消失，電容器中的電場為零，儲於該處之能量全部轉換為感應器的磁場。根據(1) 式則感應器上應有電流 (事實上是最大值)。卽使 q 等於零，此時電流 (為dq/dt) 並不為零。

在圖 13— 348(*c*) 中感應器上之大電流繼續將正電荷從電容器的上板輸至下板，如圖 13— 348(*d*) 所示；此時能量自感應器流回電容器，再度建立電場。最後，能量完全轉回電容器，如圖 13— 348 (*e*) 。圖13 — 348(*e*) 的情況與起初的情況相像， 唯電容器在相反方向充電。

電容器又開始放電，現電流為順時針方向，如圖 13 — 348(*f*) 依前

述之理，可知電流終於回至其起初情況，此過程以一定頻率 ν（如以週／秒量之）進行，這相當於一定之角頻率 ω（$=2\pi\nu$，並以弧度／秒量之）。這種 LC 振盪一旦開始（在上述理想情形時，電路中無電阻）則無限期繼續進行，能量在電容器的電場與感應器的磁場間來回變換。圖13—348中之任一位形均可作爲起始條件，振盪即從該點順時針方向沿圖進行。

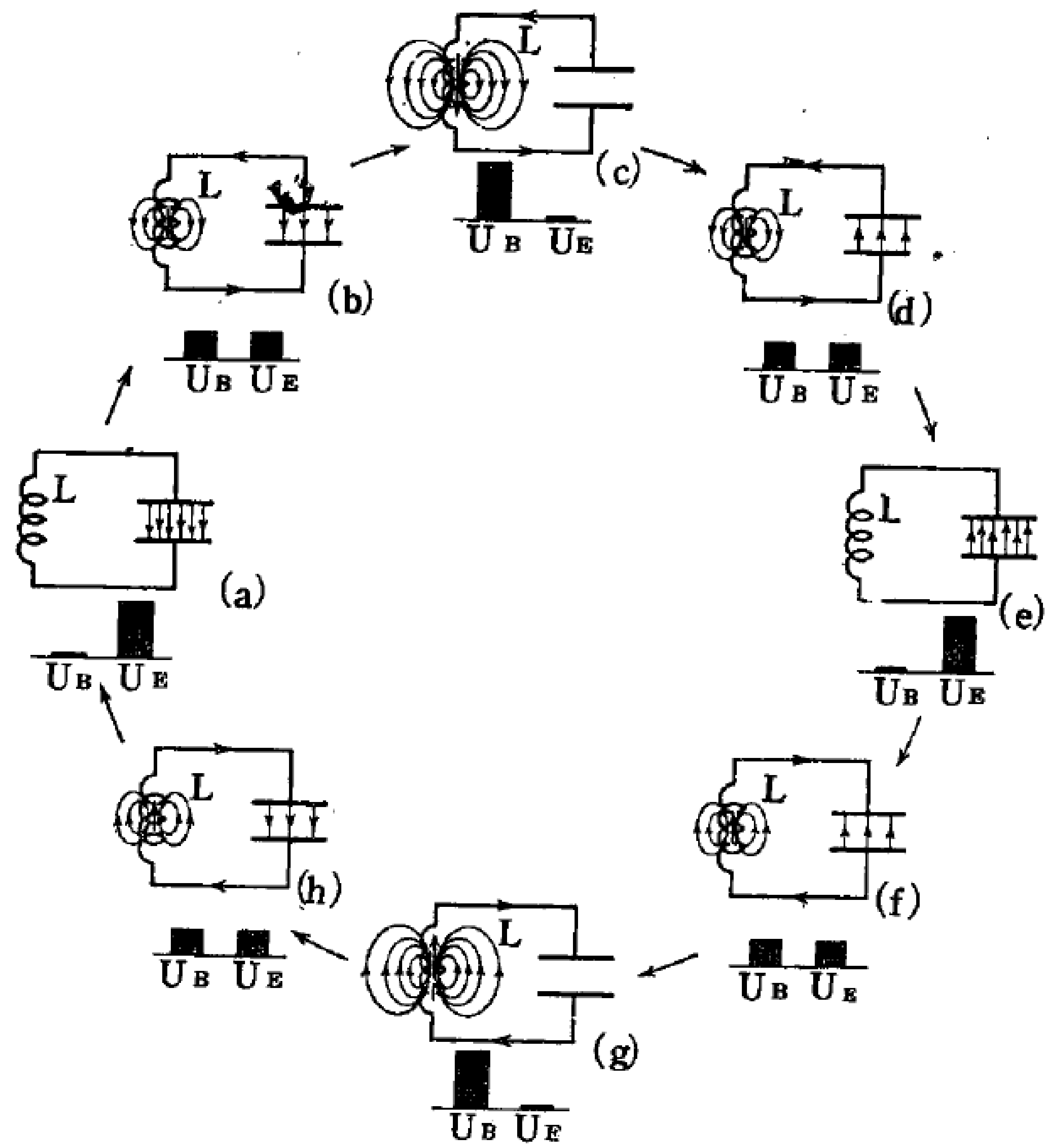


圖 13 — 348
圖示L C電路振盪一週期的八個階段，各圖下面的黑帶圖形表示儲存的磁位能和電位能，感應器軸上的垂直箭號表示電流。

欲測電荷 q 爲時間 t 的函數，可測定跨過電容器 C 的可變電位差 $V_C(t)$，關係式

$$V_C=\left(\frac{1}{C}\right)q$$

顯示 V_C 與 q 成正比。 欲測電流，可在電路中接入一小電阻 R，並測其兩端的電位差，此電位差與 i 成正比，其關係爲

$$V_R = (R)\,i$$

此處假設R甚小，故其對於電路行徑的影響可予忽略。與q和i成正比之V_C和V_R，可在陰極射線示波器上展示之，這種儀器能自動將與$q(t)$和$i(t)$成正比的圖形繪於其幕上，如圖 13—349。

在實際LC電路中，振盪並不無限期

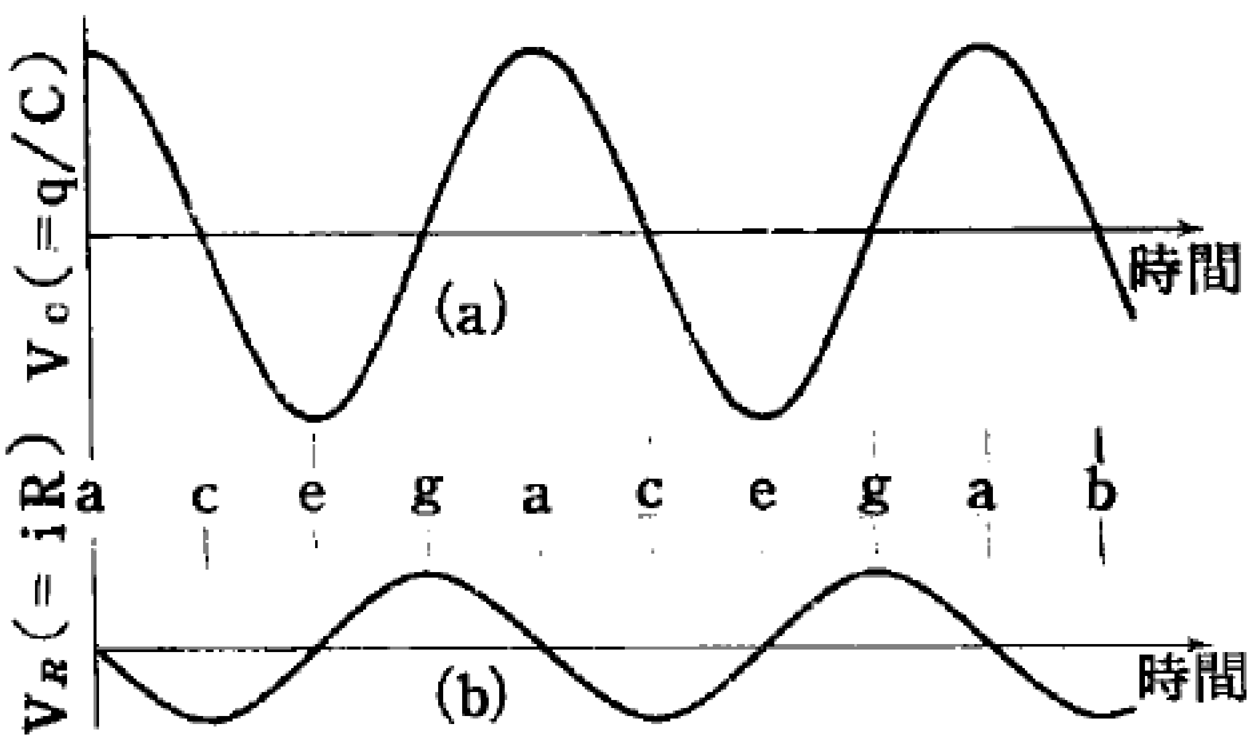


圖 13 — 349
示波器幕上的圖形顯示圖13 — 348電路中的電位差與(a)電荷及(b)電流成正比，均為時間的函數。字母表示對應於該圖的振盪相位。因 i =dq/dt ，下面曲線與上面曲線的導式成正比。

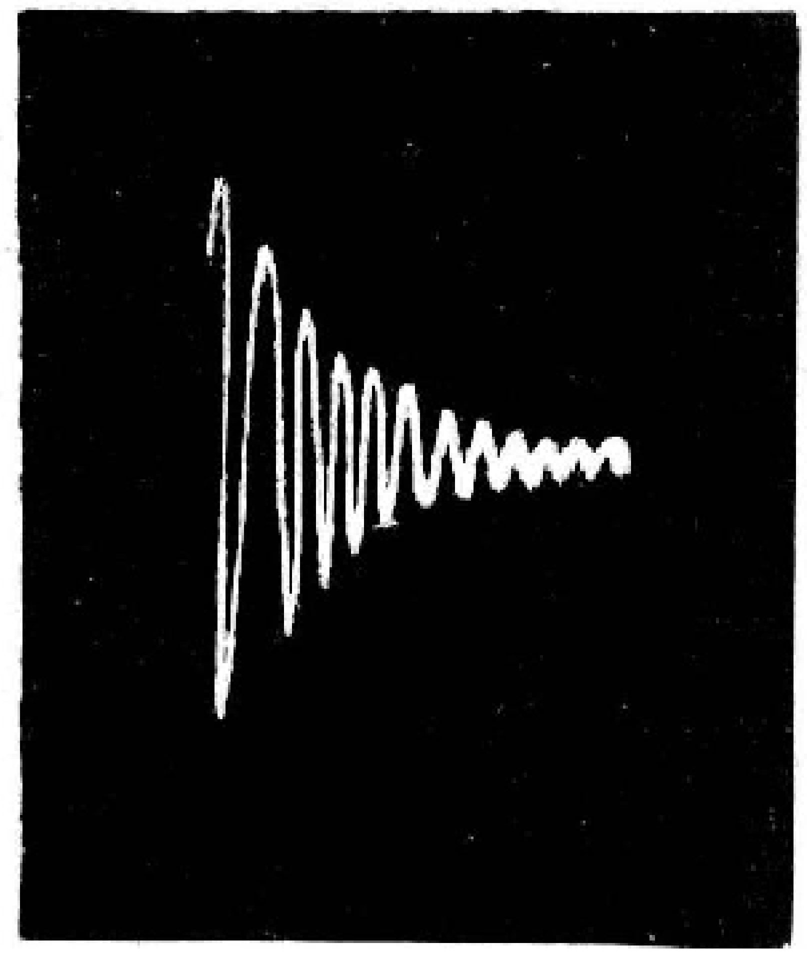


圖 13 — 350
示波器的示蹤相片顯示在LRC電路中，因焦耳效應，能量轉換至電阻器成內能，而使振盪消失的情形。此圖乃電阻器兩端電位差為時間函數的圖形。

繼續進行，因電路中總有若干電阻，由焦耳效應而消耗能量。振盪一經開始後，即逐漸消失，如圖 13—350。

若從外源自動而週期地（譬如每週一次）供給足夠能量，以補償內能的損失，則電磁振盪能保持不斷。時鐘擒縱機件為一種由彈簧或下墜砝碼將能量饋入振盪鐘擺的裝置，以補償摩擦損耗，否則摩擦損耗促使振盪消失。頻率ν可在某限度內變化的振盪器市上有裝封成件者，每件有甚大之頻率範圍，從極低之成聲頻率（低於 10 赫茲）至微波頻率（高於 10^{10} 赫茲）皆有。

【電感抗】(Inductive reactance)

當交流電流通過一線圈時，由於線圈將電能轉為磁能，此磁能的變

動磁場，在線圈內感應一極性相反於輸入電能的感應反電壓（*induced inverse voltage*），此感應反電壓有阻止電流順利流通的效應。此種效應稱為線圈的電感抗，電感抗以X_L表示，單位為歐姆。

由電感量的定義，已知1亨利的電感線圈，當通入每秒1安培的最大變動電流時，能產生1伏特的反電壓平均值。以方程式表示，即

$$E_{ave} = L\frac{I_m}{t}$$

交流電每週變動四次，每次變動$1/4f$秒。故

$$E_{ave} = L\frac{I_m}{\frac{1}{4f}} = 4fLI_m$$

因 $E_{ave} = \frac{2}{\pi}E_m$，亦即$E_m = 2\pi fLI_m$

今以X_L代表E_m/I_m，則

$$X_L = \frac{2\pi fLI_m}{I_m} = 2\pi fL$$

電感抗與線圈的自感量（*quantity of self-inductance*）及通過線圈之交流電頻率成正比，線圈的自感量以L表示，L的大小視線圈之大小與繞法而異。當直流電通過一線圈時，除在電源開關啓閉之瞬間，線圈有電感抗作用外，電流穩定以後，線圈的電感抗即消失，而對直流電僅有線圈導線純電阻R的阻礙，線圈上的直流電壓降也有定值。但當一交流電流通過線圈時，不但會受線圈導線純電阻R的妨礙，且會受電感抗X_L的極大阻礙。線圈對交流電的妨礙，兩種阻力混在一起，稱為線圈對交流電的總阻（*impedance*），總阻用Z表示。線圈的總阻，為其純電阻R及電感抗X_L之代數和，即

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

【電感時間常數】（**Inductive time constant**）

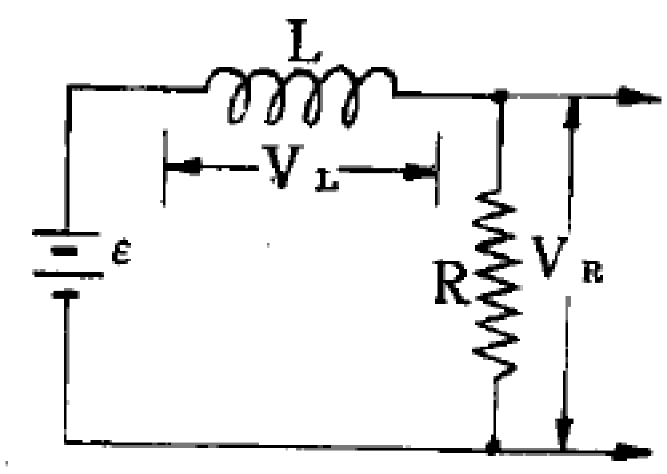


圖 13－351

在L R電路中，如圖 13－351 ，電流

$$i=\frac{\varepsilon}{R}\left(1-e^{-Rt/L}\right) \qquad (1)$$

爲用代入法試驗此解答，先求其導式di/dt，爲

$$\frac{di}{dt}=\frac{\varepsilon}{L}e^{-Rt/L} \qquad (2)$$

圖 13－352 示當ε、L及R爲特定值時（$R=2,000$歐姆，$L=4$亨利，$\varepsilon=10$伏特），電阻器兩端的電位差V_R（$=iR$；見（1）式圖 13－352(*a*)）及感應器兩端的電位差V_L（$=Ldi/dt$；見（2）式圖 13－352(*b*)）隨時間變化的情形。（1）式可改寫爲

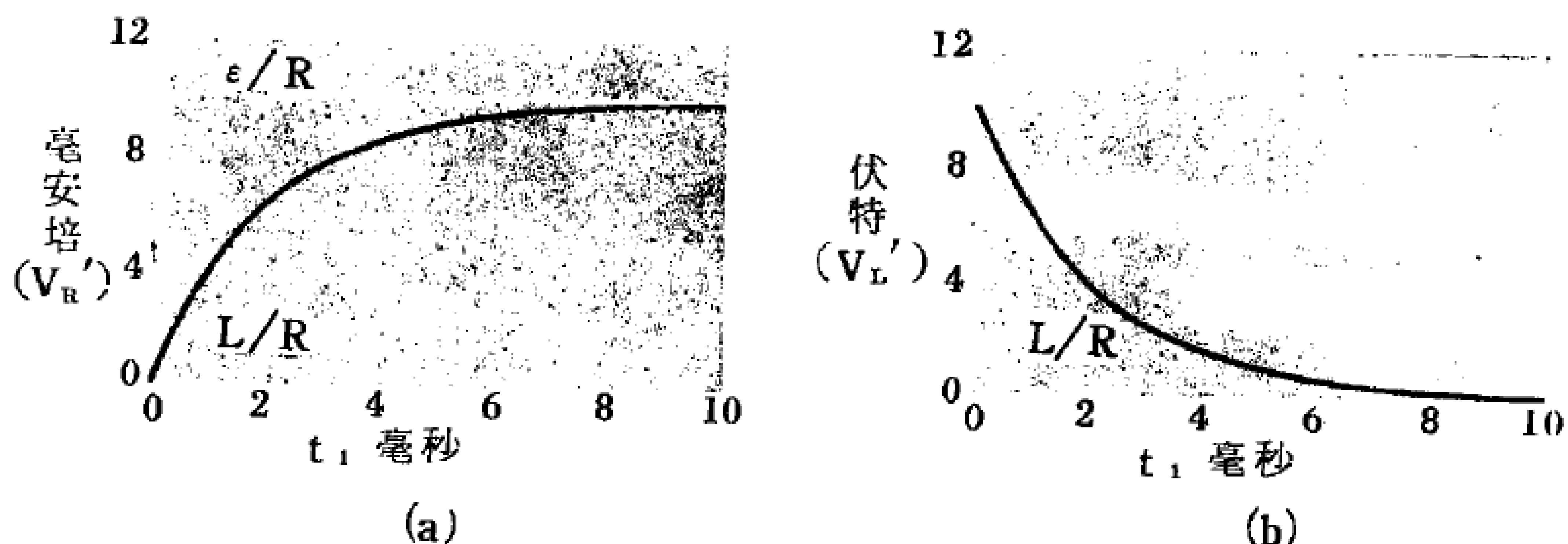


圖 13－352

$$i=\frac{\varepsilon}{R}\left(1-e^{-t/\tau_L}\right) \qquad (3)$$

式中電感時間常數τ_L爲

$$\tau_L=L/R$$

τ_L的因次爲時間。

$$\frac{1\text{亨利}}{\text{歐姆}}=\frac{1\text{亨利}}{\text{歐姆}}\left(\frac{1\text{伏特·秒}}{1\text{亨利·安培}}\right)\left(\frac{1\text{歐姆·安培}}{1\text{伏特}}\right)=1\text{秒}$$

第一括弧內之量是由電感的定義方程式〔$L=-\varepsilon/(di/dt)$〕而得

的換算因子。次一換算因子由$V = iR$之關係而得。

時間常數的物理意義可從（3）式得知，令此式中$t = \tau_L = L/R$，即化成

$$i = \frac{\varepsilon}{R}(1 - e^{-1}) = (1 - 0.37)\frac{\varepsilon}{R} = 0.63\frac{\varepsilon}{R}$$

因此時間常數τ_L即電路中電流達其最終平衡值（見圖 13—352）的 $1/e$（約 37%）所需時間。

在RC電路中，如圖 13—353

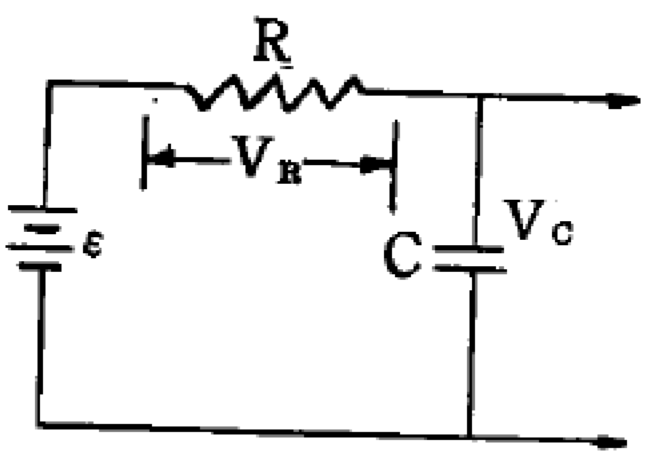


圖 13—353

$$\varepsilon = iR + \frac{q}{C}$$

即
$$\varepsilon = \frac{q}{C} + R\frac{dq}{dt}$$

積分之，得

$$\frac{q}{C} = \varepsilon\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

則其時間常數為

$$\tau_c = RC$$

【電感量】（Quantity of inductance）

電感量的基本單位為亨利（*henry*），以 *h* 表示之。一線圈在 1 秒鐘內通過 1 安培的最大變動電流，而能在線圈的兩端產生 1 伏特的反電壓平均值時，這線圈的電感量即為 1 亨利。換言之，即具有一亨利電感量的線圈，若通過每秒 1 安培的最大變動電流時，其兩端將產生 1 伏特的反電壓。用方程式表示，即

$$E_{ave} = L\frac{I}{t}$$

鐵芯線圈的電感量均大於 1 亨利。鐵粉芯線圈及蜂房式線圈之電感

量大都以微亨利（*m h*）爲單位。空芯柱形線圈則常用微微亨利（*μh*）爲單位。

單一線圈的電感量稱爲自感量（*self inductance*）。兩個以上線圈相鄰，而且磁力線起耦合作用時，又形成互感量（*mutual inductance*），互感量用M表示之，單位與自感量相同。互感量之大小與兩線圈之耦合係數k及兩線圈之自感量乘積平方根成正比，即

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

射頻線圈的繞製，其基本型式爲螺線管（*solenoid*）。實用上螺線形空芯線圈之自感量，可按下列公式計算得之

$$L = \frac{0.2a^2N^2}{3a + 9b + 10c} \quad \text{或} \quad L = 0.00987\frac{d^2N^2}{l}K$$

式中L爲自感量，單位爲μh。第一式爲英制，a爲線圈的平均直徑，因螺線形線圈可分層疊繞，故應計其平均直徑，單位吋。b爲線圈的長度，c爲線圈的厚度，單位吋。N爲線圈的圈數。

第二式爲C.G.S.制。d爲直徑、l爲長度、單位公分（*cm*）。N爲圈數。K爲線圈的形狀因數（*shape factor*），爲線圈直徑與長度之比（d/l）的函數。常用範圍內空芯線圈的形狀因數，經日本人長岡製成一表，稱

長岡因數表

空芯線圈的形狀因數			
d/l	K	d/l	K
0.10	0.959	1.50	0.595
0.25	0.902	1.60	0.579
0.50	0.818	1.70	0.565
0.60	0.789	1.80	0.551
0.70	0.760	1.90	0.538
0.80	0.735	2.00	0.526
0.90	0.711	2.25	0.495
1.00	0.688	2.50	0.471
1.10	0.667	3.00	0.429
1.20	0.648	3.50	0.394
1.30	0.629	4.00	0.365
1.40	0.612	5.00	0.320

爲長岡因數（*Nagaoka's factor*），如上表所示。

螺線管線圈的分佈電容量較大，在射頻電路中可引起射頻短路或減低自感量之弊，且如需要之自感量較大時，螺線管線圈之直徑及長度均無法縮小。故有"蜂房式"（*honeycomb*）繞製法。蜂房式線圈在有限長度內作交錯疊繞，故能使分佈電容量減至最小限度，且使線圈本身之直徑與長度比大爲增加，而使形狀因數大爲減小。此兩者作用相反，直徑與長度比愈大，線圈之效率愈大，即Q值愈大；而形狀因數之減小，則使電感量減小。而須把線圈增多，直流阻力稍大。但Q值之增高，其利益遠大於形狀因數之加大；且圈數之增多，對於電感量之增加爲平方關係，故所得遠大於所失，而直流電阻之增加至屬有限。故蜂房式線圈常被用作射頻扼制圈（*RFC*），作射頻濾波或射頻高總阻耦合之用。

除蜂房式線圈外，尙有蛛網式線圈（*spider-web coil*），小型已淘汰，大型被用作簡便之天線，略具方向性。

【電感電路】（Induction circuit；L-circuit）

電感電路簡稱爲L電路。當一電路包含有一感應器而電阻可忽略時，$IR+L\frac{dI}{dt}=V_0\sin\omega t$ 可簡化爲

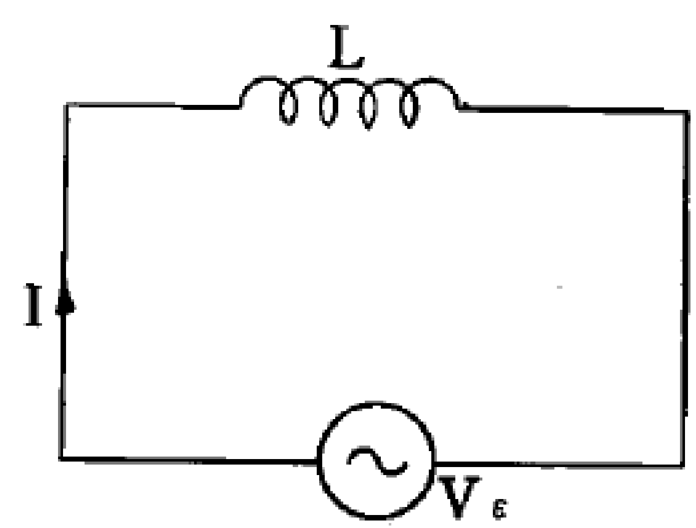
$$L\frac{dI}{dt}=V_0\sin\omega t$$

或積分之，得

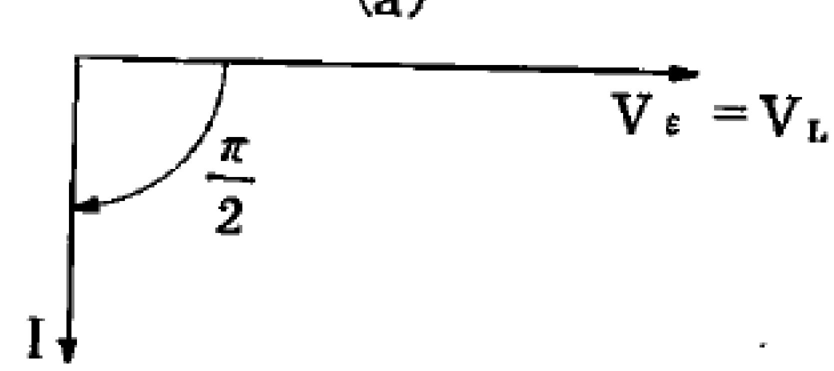
$$I=-\frac{V_0}{\omega L}\cos\omega t=\frac{V_0}{\omega L}\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)$$

因此電路上之電流落後跨接電動勢一個角度$\pi/2$ 而電流之振幅爲I_0，即

$$I_0=\frac{V_0}{\omega L} \quad 或 \quad V_0=\omega L I_0$$



(a)



(b)

圖 13 — 354

$V_L = L\ (dI/dt)$ 爲跨越電感器之電壓降落而使相位超前電流 $\pi/2$ 之角，向量圖解示於圖 13— 354(*b*)。

【電感線圈】(Induction coil)

由導體繞製而成的線圈，其繞法使得線圈具有較大的電感。電感線圈按形狀可以分爲：

1. 圓筒形電感線圈——線圈排列在圓筒的表面上，可以是一層，也可以是好幾層。

2. 扁平電感線圈——線圈排列在一個平面內。

3. 矩形電感線圈——線圈呈矩形。

按繞製方法可以分爲：蜂房式線圈、蛛網式線圈及以 8 字形繞於兩隻圓筒上的 8 字電感線圈。

【電感調壓器】(Inductive regulator)

將交流電源電壓調節時，不用電位器而改用線圈者。

【電感橋】(Inductance bridge)

結構有如惠司同電橋 (*Wheatstone bridge*)，利用比較法測得感應量的一種測量工具。

【電感器】(Inductor)

電感器俗稱線圈 (*coil*)、抗流圈 (*choke*) 或變壓器 (*transformer*)，僅因其在電子電路中之使用目的，以及其繞製型式而賦予不同之名稱而已。可分爲射頻 (*R.F.*) 或空芯式 (*air core*) 及聲頻 (*A.F.*) 或鐵芯式 (*iron core*) 兩大類。

電感器因爲是導線所繞成，故在圈與圈之間有分佈電容量存在。線圈長度愈大，分佈電容愈大，足以引起射頻電能經分佈電容而使線圈失卻其作用。多層疊繞式 (*multi-layer*) 線圈尤其是蜂房式線圈，因長度縮短而使分佈電容減小，而使線圈的品質因素增高。

電感圈的品質因素，即爲其電感抗與直流電阻之比，以 Q 表示之

$$Q=\frac{X_L}{R}=\frac{2\pi fL}{R}$$

電感圈的直徑愈大，長度愈短，則其Q值愈大；線圈之Q值，與形狀因數成反比。

兩電感圈串聯後，若相鄰線圈間不起互感作用時，其總的電感量爲各電感圈自感量之和，卽

$$L_t=L_1+L_2+L_3\cdots\cdots+L_n$$

倘兩串聯線圈間有互感作用存在，且其互感因磁場方向相同而相加（*series aiding*）時，則

$$L_t=L_1+L_2+2M$$

若兩串聯線圈之方向相反，互感時磁場相銷（*series opposing*），則

$$L_t=L_1+L_2-2M$$

倘數個線圈在並聯狀態下不起互感作用，則其總電感量之倒數，等於各線圈自感量倒數之和

$$\frac{1}{L_t}=\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}+\cdots\frac{1}{L_n}$$

$$L_t=\frac{1}{\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}+\cdots\frac{1}{L_n}}$$

兩個不起互感作用的線圈並聯時，其總電感量爲

$$L_t=\frac{L_1L_2}{L_1+L_2}$$

倘此兩線圈在磁場互感狀態下並聯，則其總電感量爲

$$\frac{1}{L_t}=\frac{1}{(L_1+M)}+\frac{1}{(L_2+M)}$$

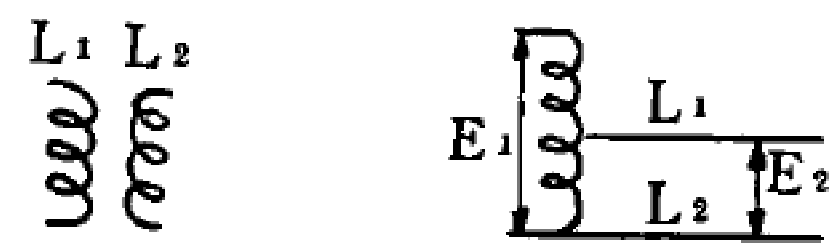
$$L_t = \frac{1}{\frac{1}{(L_1 + M)} + \frac{1}{(L_2 + M)}}$$

電感線圈之分佈電容，與其自感量構成一串聯環路，故對某一頻率，構成一諧振電路，其諧振頻率稱爲電感圈之自然頻率（*natural frequency*）。若電感圈串聯於與其自然頻率相同之交流電路中，或在其串聯的交流電路中有一頻率與其自然頻率相同時，電感圈對此一與其自然頻率相同之交流電呈現並聯諧振作用。

在極高頻（*V.H.F.*）到微波頻段的電路中，一切導線及電子管等的引線、插腳等所具之微小電感量與分佈電容所構成之自然頻率，均足以限制電路頻率的範圍，即此種分佈電感與電容之自然頻率，即爲此等電路之最高頻率，故普通電子管不可能產生微波範圍之振盪電能。

若把導線對摺後繞成雙線線圈（*bifilar inductor*），使電流的出入方向相反，則此線圈的磁場，即可因兩半相反而相銷，故可不呈電感作用，稱爲無電感線圈（*non-inductive coil*）。高級測驗儀器中之線繞式純電阻器大都用此法製成。

射頻線圈與鐵芯線圈可製成變壓器，見圖 13—355 。所不同者，射頻變壓器在實際使用中，總阻的匹配較電能的轉遞更爲重要。



(a) (b)

圖 13 — 355

一如電容器的串聯，電感器串聯電路同樣構成一分壓電路如圖 13—355(*b*)抽頭式射頻線圈即爲一典型的射頻自耦式變壓器，亦即一射頻分壓器。此種方式的純電感器電路，爲完成簡單的耦合、匹配、反饋、倒相等作用的最簡便方法，在射頻電路中使用極廣。

圖 13—355(*b*)的分壓作用爲：

$$E_2 = E_1 \frac{L_2}{L_1 + L_2}$$

【電感器 - 電容器分壓器】(LC voltage divider)

簡稱LC分壓器，即利用LC串聯電路對交流電的IX電壓降。此種分壓器具有對某一頻率的諧振作用，而對其他頻率則同時成爲濾波電路。若專以分壓爲目的，則X_C和X_L之間應有較大的比例，使諧振點排移於分壓頻段以外。圖13—356示的分壓器，其分壓作用爲

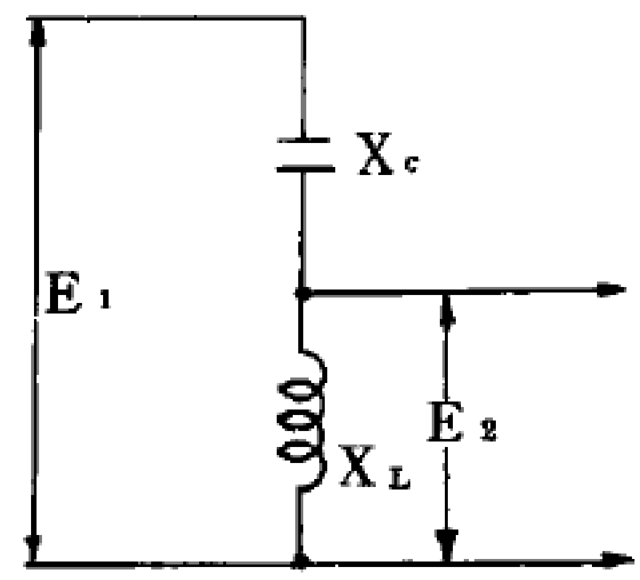


圖 13 — 356

$$E_2 = E_1 \frac{X_L}{X_L - X_C}$$

【電感器、電容器串聯電路】(LC circuit in series)

在無線電收音機中，有許多不同頻率的信號進入天線，收聽的人用調諧電容器來調諧無線電收音機。這使天線線圈和電容器調諧至所欲收聽電臺的頻率。由於諧振效應，線圈和電容器僅選擇與諧振頻率相同的信號使它進入收音機。

線圈對低頻率的反抗作用較高頻率爲小，而電容器對高頻率的反抗作用較低頻率爲小，這種反抗作用叫做電抗。圖13—357示線圈和電容器的電抗曲線。

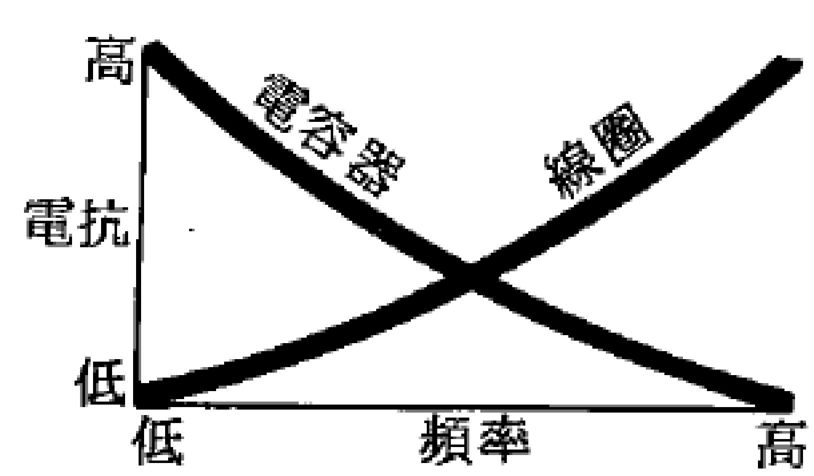


圖 13 — 357

在圖13—357所示LC串聯電路中，假定信號發生器產生的頻率很低，線圈對此低頻率的電抗很小，而電容器有很大的電抗，所以總電抗很大，僅有甚小的電流流動。反之，如信號發生器產生的頻率很高，電容器的電抗雖變小，但線圈卻有很大的電抗，電流仍舊很小。但在以上兩頻率中間的某一頻率，線圈的電抗等於電容器的電抗，在此頻率（諧振頻率）電路的阻抗最小，電流最大。

【電感器、電容器並聯電路】(LC circuit in parallel)

大多數無線電收音機採用並聯諧振電路來調諧不同的頻率，而不用

串聯諧振電路。

線圈和電容器的電抗是隨所用頻率而變化的，除此之外，線圈和電容器在諧振電路中尚有另一個重要的特性，即線圈使電流的相位滯後外加電壓90度（圖13—358），電容器則使電流的相位超前外加電壓 90度（圖 13—359）。

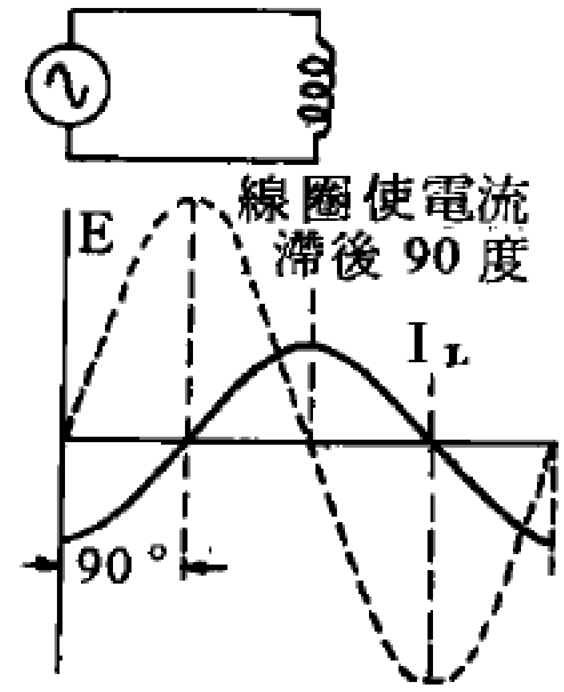


圖 13 — 358
跨於線圈的電壓和電流波形

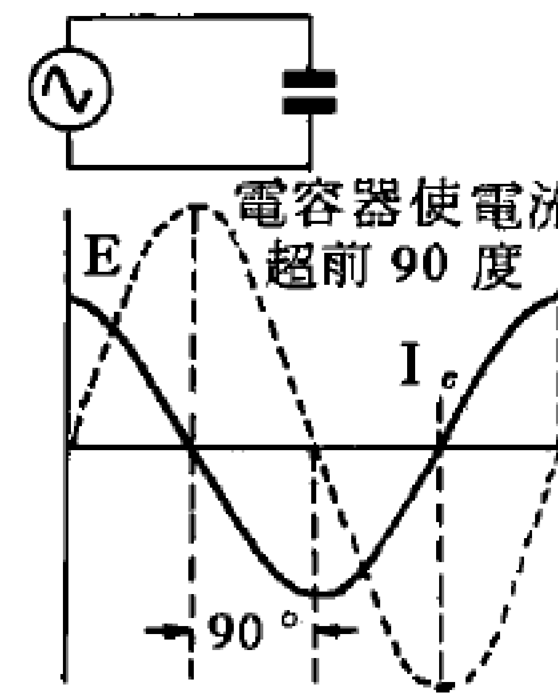


圖 13 — 359
跨於電容器的電壓和電流波形

如將一個線圈和一個電容器並聯相接（圖 13—360），線圈中的電流滯後外加電壓 90度，而此外加電壓再滯後電容器中的電流 90度，因此線圈中的電流和電容器中的電流相差180度。相位差 180度的兩電流，將相互抵銷，如電容器單獨流過 3 安培，線圈單獨流過 2 安培，則兩者的合成電流將是 1 安培。

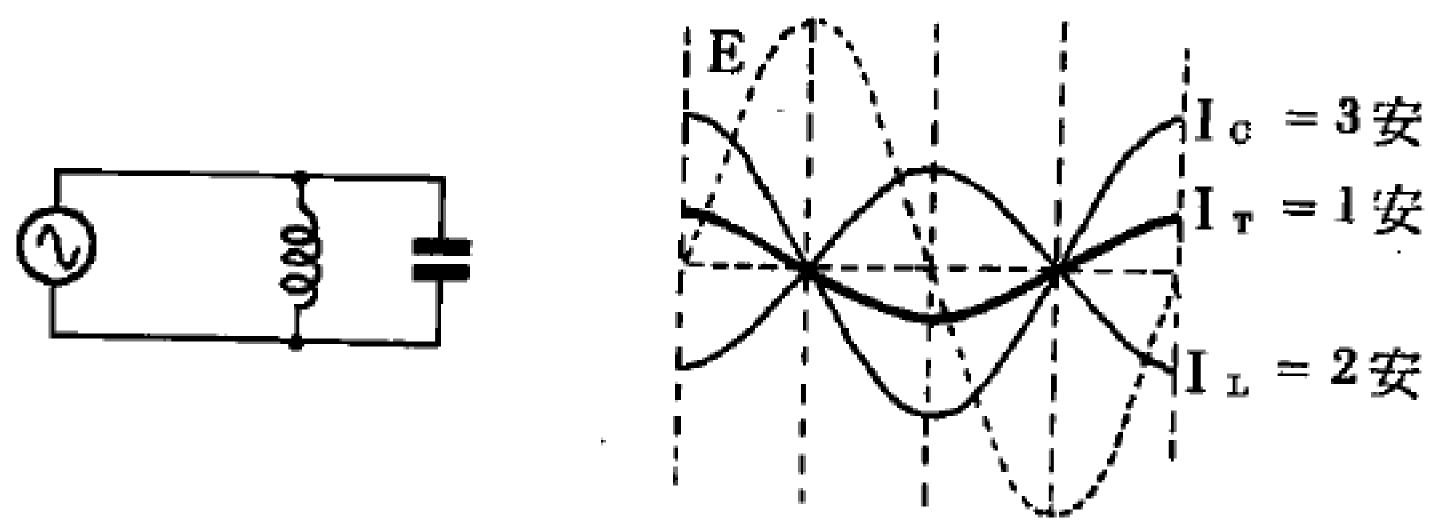


圖 13 — 360

因爲線圈和電容器是並聯的，跨於兩者的電壓必然相同。如選擇某一頻率，使在此頻率時線圈的電抗等於電容器的電抗，將此頻率的電壓加在此並聯電路時，則線圈中的電流和電容器中的電流將大小相等而相位相反，如此，則經過此並聯電路的電流等於零（圖13—361）。產生此種現象的頻率叫做

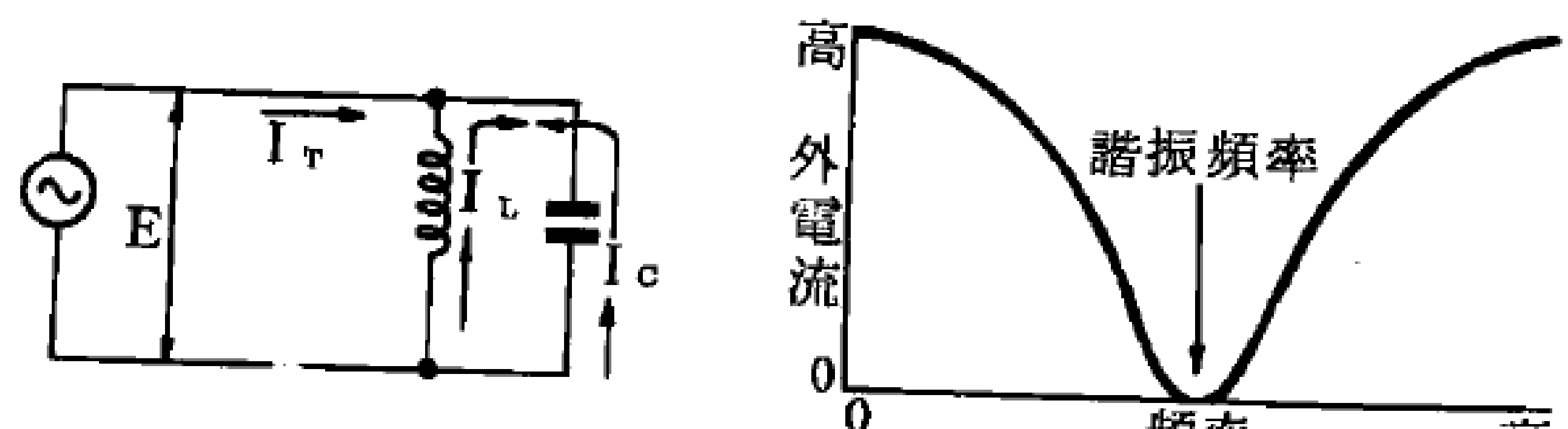


圖 13 — 361
理論上在諧振頻率時外電流等於零

諧振頻率。在此頻率時，調諧電路的阻抗最大。

如在一電氣設備上加一電壓，但不導電流，則可稱爲開路，亦可以說它有無窮大的阻抗。在理論上講，並聯諧振電路有無窮大阻抗，但實際上並不如此，在諧振時，外電路中仍有甚小的電流流過（圖 13— 362）。這是因爲所有的線圈中均具有一些電阻。其結果線圈中的電流和電容器中的電流，其相位並不相差 180 度，不能完全相抵銷。

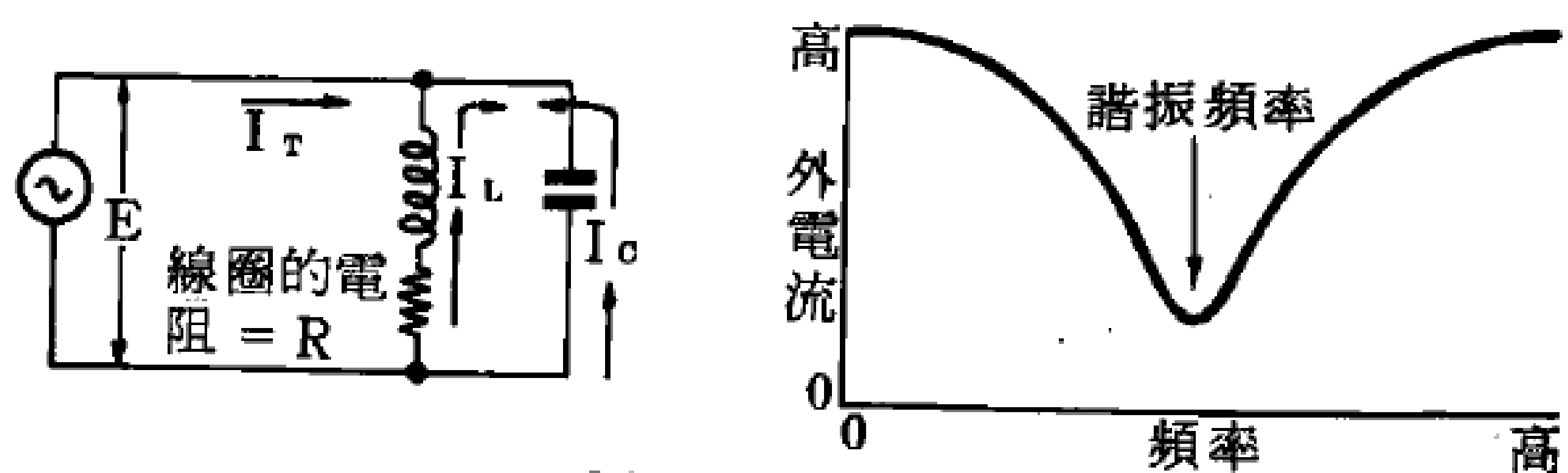


圖 13— 362
實際上在諧振頻率時外電流最小

【電感器、電容器混合電路】（ LC composite circuit ）

電感器與電容器構成的網路，簡稱 *L C* 電路，在電子裝備的電路中使用甚廣。*L C* 電路對頻率有敏銳的選擇性。其主要功用即爲交流分壓、濾波及調諧（ *tune* ）或諧振（ *resonant* ）。

【電感器、電容器、電阻器混合電路】（LCR composite circuit）

電感、電容及電阻的混合電路簡稱 *LCR* 電路，凡用於調諧、振盪、濾波、分壓等電路，經常爲此三項組件或其部分因素混合而成，所謂部分因素，指分佈電容、佈線的電感及電感器之潛存電阻等作用而言。

1. *LCR* 混合電路的總阻——純電阻 *R* 在交流電路中，不會引起電壓與電流間的相移（ *phase shift* ），即其電壓與電流爲同相（ *in phase* ）。而電感抗 X_L 或電容抗 X_c，則都會使其電路中的電壓與電流產生 90°的相位差（ *phase difference* ）。在純電容電路中，電流超前於其電壓 90°，在純電感電路中，則其電流滯後於其電壓 90°。進而言之，若以 *R* 爲基準，則在 *R C* 或 *R L* 電路中，其電容抗 X_c 或電感抗 X_L，和 *R* 之間各有 90° 的相位差；而在 *L C* 電路中，則其 X_L 和 X_c 之

間有 180°的相位差。

純電阻 R 對電能因熱效應而造成損失，而電容抗 X_c 和電感抗 X_L，則僅爲對交流電能的一種反抗作用。在理論上說，它們只是對交流電的阻抑（*impedes*）作用， 其本身並不眞正消耗電能。換言之，電阻 R 是實數（*real number*），而阻抗 X_c 及 X_L 是虛數（*imaginary number*）。因此，在一 LCR 混合電路中，除 X_L 和 X_c 因相位相反、單位相同，故其電抗（*reactance*）X_L 和 X_c 的歐姆值可以相銷以外；R 的電阻與 X_L 或 X_c 的電抗值不能直接加減。其混合後的總阻（*impedance*）Z 爲彼此的向量和（*sum of vector*）的絕對值。 用方程式表示，即爲

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} \qquad |Z| = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

或 $$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2} \qquad \text{（向量記數）}$$

在表示 LCR 混合電路的向量圖中，以直角坐標的橫軸（X）代表純電阻 R 的電阻值，並以縱軸（Y）代表 X_L 及 X_c 的電抗值。同時，在習慣上以 X_L 置於縱坐標的上方，加以正（＋）的符號，以 X_c 置於縱坐標的下方，而加以負（－）的符號（圖 13—363）。

所謂虛數，即負數的平方根。一個虛數，可以用正數乘 $\sqrt{-1}$ 的積來表示。例如 $\sqrt{-49} = \sqrt{-1} \cdot \sqrt{49} = \sqrt{-1} \cdot 7$。在數學上，這 $\sqrt{-1}$ 係用 “i” 代表；但在電工及電子學中，因 i 已被用以表示電流；爲免混淆，另用 j 字代替 i 以表虛數。換言之，在電子工程中，用 j 字代表電抗的性質；即以 $+j$ 表示電感抗，$-j$ 表示電容抗。

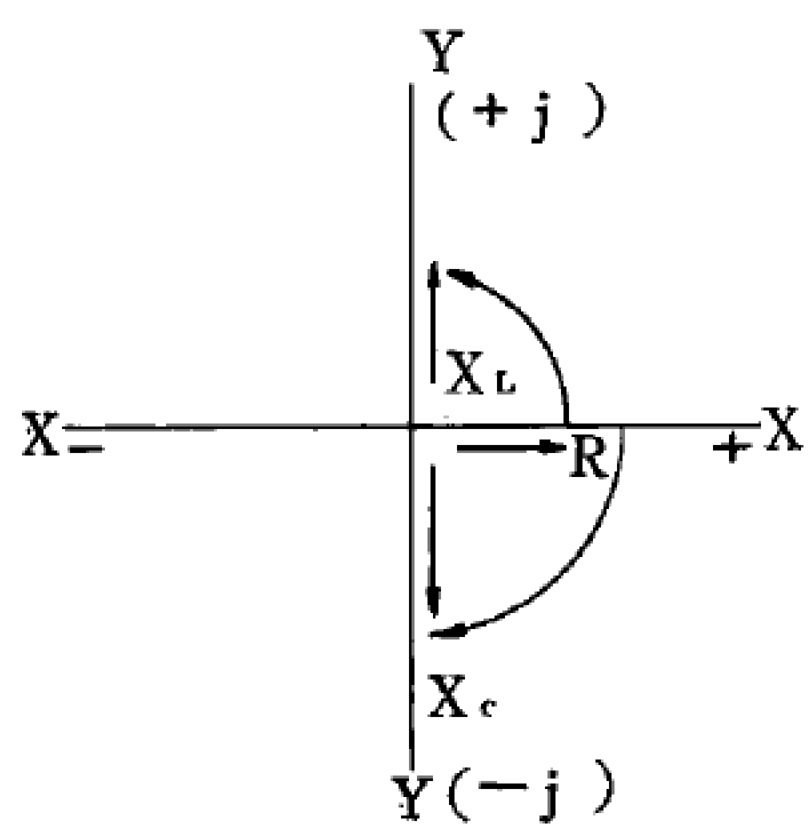


圖 13 — 363

在 LCR 的混合電路中，其總阻算出以後，有時還須看出這電路中的 X_L 和 X_c 相抵

後，剩餘的電抗究爲電感抗抑或電容抗？因爲在有些電路中，爲謀求諧振（*resonance*），必須把混合電路中剩餘的X_L或X_c完全抵銷。當殘餘抗爲X_L時，可串聯一電容器；殘餘抗爲X_c時，可串聯一電感器。使混合電路除純電阻R以外，不具任何的電抗作用，而在需要的頻率上達到諧振狀態。例如廣播電臺天線旁附置的調節箱（*tuning house*），便是一抵銷天線殘餘電抗的網路（*network*）。

LCR混合電路之總阻Z，若呈電感性時，稱爲$+j$電路，若呈電容性時，稱爲$-j$電路。j字代表著X_L或X_c與R之間90°的相角關係。因此RL、RC或LCR混合電路的總阻Z，又可用下列方式表示其特性

$$Z=R+jX_L \qquad Z=R-jX_c \quad 或 \quad Z=R\pm jX$$

上列方程式叫做直角式（*rectangular form*）記數法。例如一$R=5\,\Omega$，$X_L=3\,\Omega$之電感性電路，其總阻的表示法爲$Z=5+j\,3\,\Omega$，若爲電容性電路，則$Z=5-j\,3\Omega$。

爲要看出LCR電路中的相角關係，又可把直角式記數法轉化爲圓極式記數法（*polar notation*），以同時表示出電路的總阻，及相角θ的正確度數。其基本形式爲

$$Z=|Z|\angle\theta\ 歐姆$$

R和Z之間的相角θ，可由下列任一三角關係求出

$$\sin\theta=\frac{X}{|Z|} \qquad \cos\theta=\frac{R}{|Z|} \qquad \tan\theta=\frac{X}{R}$$

變換直角式記數法爲圓極式記數法，只是一種直角分力的向量加法。當電阻值（R）及電抗值（X_L，X_c或X）爲已知數時，即可依據$|Z|=\sqrt{R^2+X^2}$及$\tan\theta=\frac{X}{R}$兩式，把$Z=R\pm jX$轉變爲$|Z|\angle\theta$的圓極式記數法。

LCR混合電路既因相位角的存在，而在總阻上顯示其特性和角度

，當然也因不同特性與角度的存在而改變其電壓或電流的各種因數。因此各總阻方程式，也同樣適用於電壓或電流的特性和角度的計算。

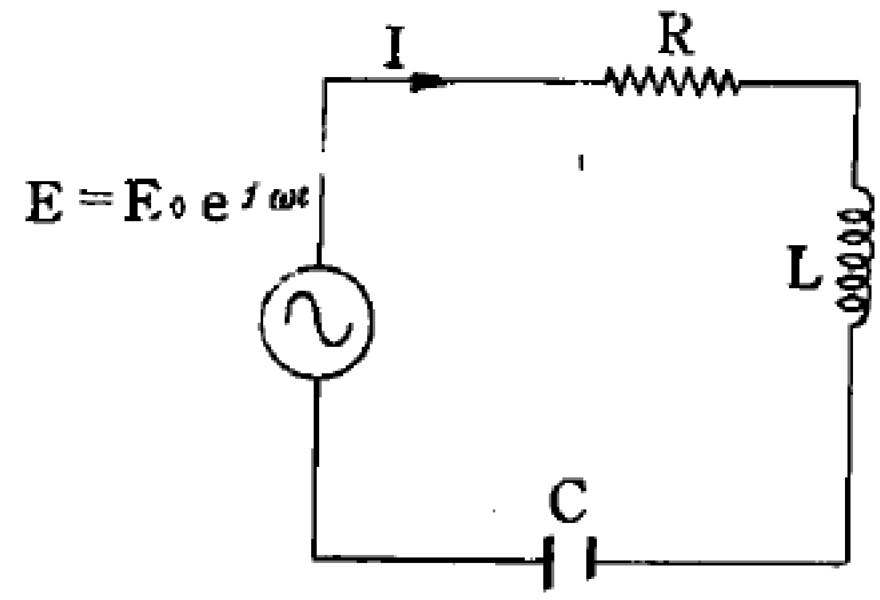


圖 13 — 364

2. LCR 串聯電路——LCR 串聯電路，基本上爲一濾波電路如圖 13 — 364。具有分壓、電壓放大及與外施電壓之頻率產生諧振之作用。

LCR 串聯電路中，有如下各項狀態之存在：

(1) LCR 中通過之電流相等。

(2) L，C，R 三者之交流電壓降不一定相等，最大的電壓降產生於最大的電抗（X_L 或 X_c）之上。

(3)電流通過 L 及 C 時，有相位差存在。最大的相位差爲 180°。

(4)當 $X_L > X_c$ 時，電路呈電感（$+j$）性。$X_L < X_c$ 時，電路呈電容（$-j$）性。$X_L = X_c$ 時，電路呈電阻性。

(5)當電路呈電阻性時，電流最大。

(6)由於 L 及 C 上電流相角不同，各分端電壓降的總值（E_t），爲 E_L、E_c 及 E_R 的向量和。又由於 X_L 和 X_c 之值每遠大於 R 之值，故 E_L 及 E_c 之值，將遠較外施電壓 E 之值爲大。

3. LCR 並聯電路——如圖 13 — 365 所示，總電流爲 I，通過電感器、電阻器和電容器之電流分別爲 I_1、I_2 和 I_3，由克希何夫定律

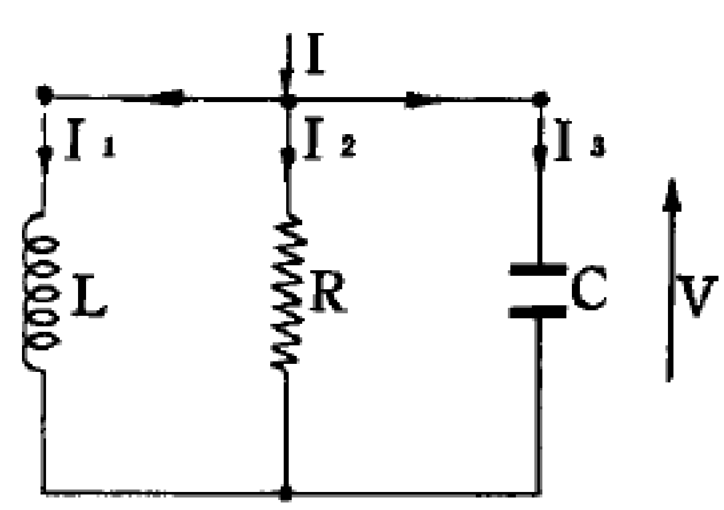


圖 13 — 365

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

從歐姆定律得知

$$\frac{V}{Z} = \frac{V}{jX_L} + \frac{V}{R} + \frac{V}{-jX_c}$$

則 $$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX_L} - \frac{1}{jX_c}$$

當$X_L = X_c$時，產生諧振，此時$Z = R$。

【電感耦合】(Inductive coupling)

兩串聯電路間如使用並聯電感器任耦合時（如圖13—366），和電容器耦合一樣，也是一簡單的通帶濾波器。其頻率寬度亦與電感耦合係數k有關。此種電路在電視接收機中亦頗爲通用。耦合係數k，由下列方程式決定：

$$k = \sqrt{\frac{L_0^2}{(L_1 + L_0)(L_2 + L_0)}}$$

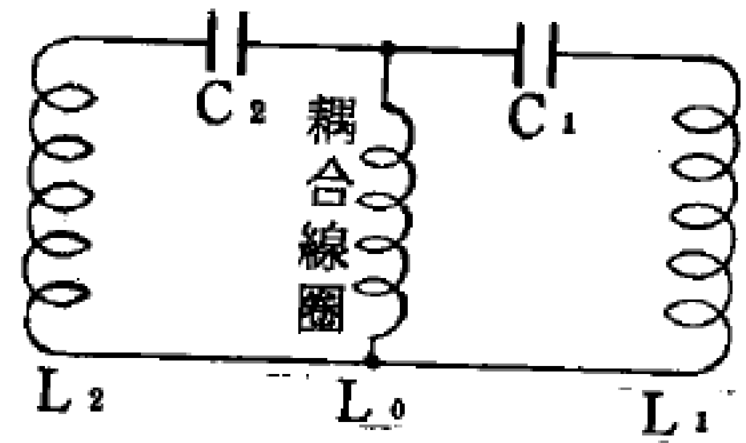


圖13—366

【電極】(Electrode)

電解質內電流之出入口爲電極。一般地講，這是某段電路終結端的導體。在電子管及其他眞空與充氣器件內，將裝於器件內用來產生電場及拾取運動於器件內的電子與離子的導體（薄板、柵網、圓筒等等）叫做電極。

【電極化】(Electric polarization)

當一個原子在電場中時，它的正負電荷會沿著相反方向產生位移。這種現象叫做電極化。如將一塊未帶電的介質（卽絕緣體）移近帶電體。因帶電物體的電力作用在電介質的分子上，使分子的正電和負電中心分開而變成“電雙極”，這些電雙極且沿著電力的方向排列。所以電介質的兩端出現正負電荷。

電極化強度，其定義爲電介質中，單位體積內的偶極矩。電極化強度與電場向量同向，其關係爲

$$\vec{P} = \vec{D} - \epsilon_0 \vec{E} = \chi_e \epsilon_0 \vec{E} = (\epsilon - \epsilon_0)\vec{E}$$

式中$\vec{P}$是電極化強度，$\vec{D}$電位移，$\vec{E}$電場向量，ϵ和ϵ_0分別爲電介質和自由空間的電容率，χ_e是電介質的電極化率。

以偶極矩表示，則電極化強度可寫爲

$$\vec{P} = (N/V)\, q\vec{l}$$

式中N/V 是單位體積內的偶極子數，q 是偶極子的電荷，$\vec{l}$ 是位移向量，$q\vec{l}$ 即爲偶極矩。

【電極化率】(Electric susceptibility)

假設一個平行板電容器頂板上的電荷爲$-Q$，底板上的爲$+Q$，如圖 13—367 所示。在沒有介電質時，二板間的電場爲$\vec{E_0}$，其值爲$4\pi Q/A$，方向朝上。二板間的電位差爲$V=4\pi Qt/A$，故其電容爲

$$C_0=Q/V=A/4\pi t$$

現在將板間塞滿介電質。電場會將介電質內之原子或分子極化。極化強度$\vec{P}$的方向與$\vec{E_0}$相同。根據重疊原理，現在電容器二板間的電場爲圖 13—367(a)及 13—367(b)之和。也就是$\vec{E_0}$ 及由二個面電荷$\pm\vec{P}$所產生之電場$\vec{E'}$之和。由於$\vec{P}$ 與 $\vec{E_0}$同向，故$\vec{E_0}$與$\vec{E'}$的方向相反。這個原理可從圖 13—368 上看出來。故在介電質內之常觀電場爲

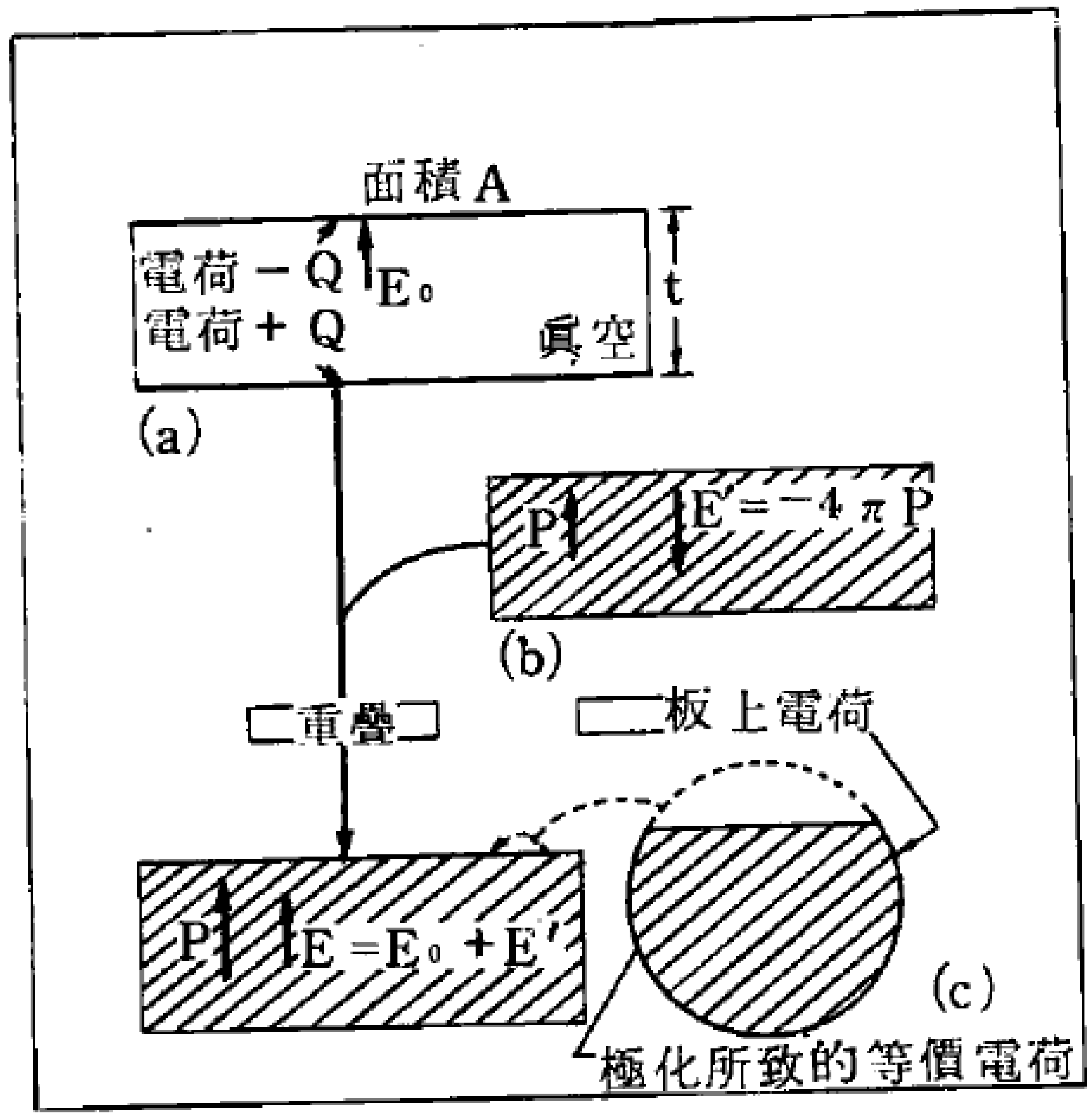


圖 13 — 367
平板電容器的二板間塞滿介電質時的電場爲眞空時(a)的電場與一塊極化板(b)的電場的和。

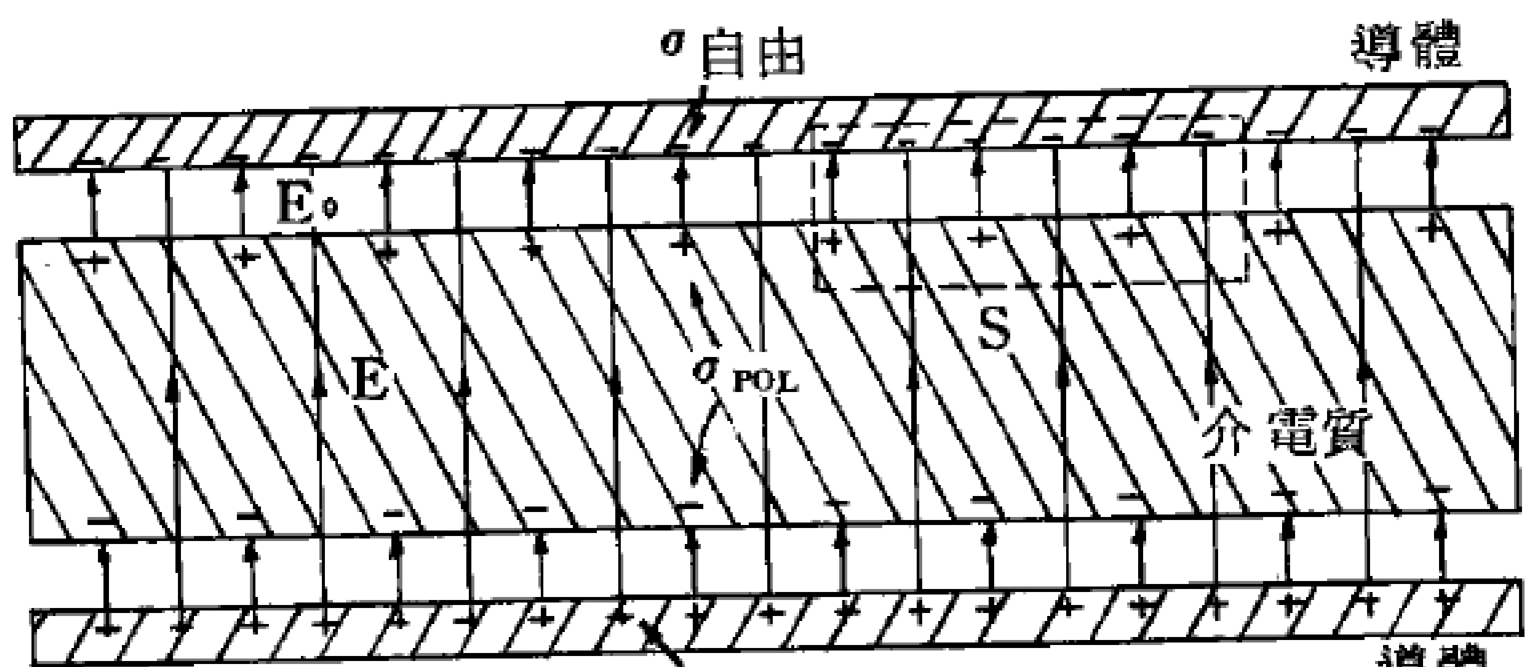


圖 13 — 368
平行板電容器之二平板間塞滿介電質時的常觀電場

$$\vec{E}=\vec{E_0}+\vec{E'}=\vec{E_0}-4\pi P \qquad (1)$$

因外電場與極化強度成正比，即

$$\vec{P}=\chi\vec{E}$$

式中比例常數 χ 稱爲物質的電極化率，對大多數物質而言，χ 爲一正值。代入（1）式，得

$$\vec{E}_0=(1+4\pi\chi)\vec{E}=\epsilon\vec{E}$$

$$\epsilon=1+4\pi\chi$$

ϵ 是介電常數。在眞空中 $\epsilon=1$。在任何介質中 $\epsilon>1$。由於介電質的存在，使二板間之電場減小 $\frac{1}{\epsilon}$ 倍，故其電壓亦減小 $\frac{1}{\epsilon}$ 倍。換句話說，現在電容器的電容增加了 ϵ 倍，

$$C=\epsilon C_0$$

式中 ϵ 爲介質的電容率。在各種單位制中，電極化率均無因次。

【電解】（Electrolysis）

利用電流使化合物分解的程序。分解原理是電流將化合物分離爲正負兩種離子，再分別由陰陽二極板收集，負離子聚集在陽極，正離子則聚集在陰極。化合物可以是自然形態，也可製成溶液或熔解物。舉例來說，當電流通過稀酸化水時，水就分解爲組成部分——氧氣和氫氣。從電解液中分解出來的物質的量正比於流過電解液的電量，即電流強度與此電流流通時間的乘積。因此，電解現象可以用來測量電流強度及確定電流強度的單位。又可以從電解液中分析出來的金屬給物體鍍上一個薄層。

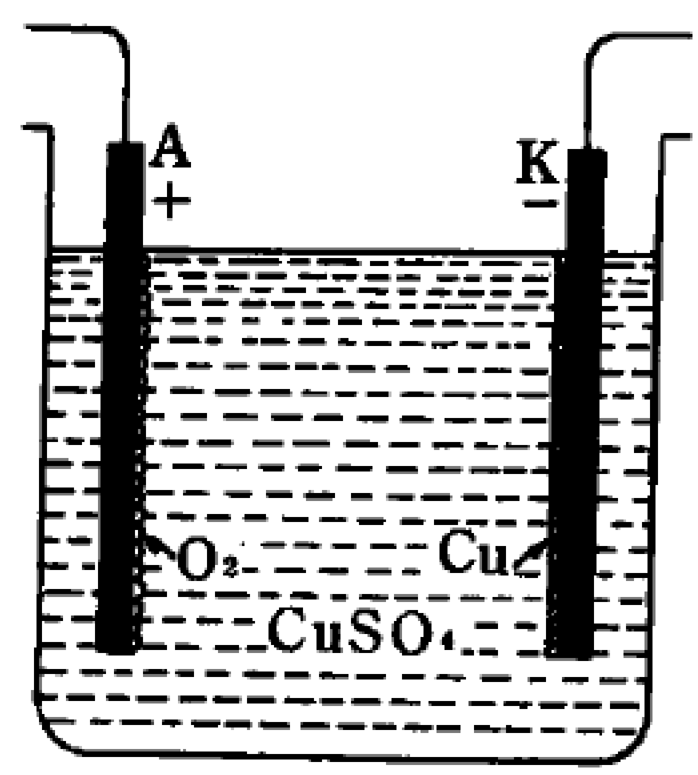


圖 13 — 369
硫酸銅溶液電解時，陽極A產生氧（O_2），陰極K則析出銅。

電鍍和電鑄都是由這種方法完成的。

所有的電解實驗，都一致的導致如下之結論：陰極上恆產生氫或電解質所含之金屬；陽極上則析出酸根（如 SO_4^{--}），氫氧根（OH^-），或由於進一步之化學反應而有氧元素（O_2）生

成。

【電解池】(Electrolytic cell)

發生電解作用的裝置。

【電解質】(Electrolyte)

起電解作用的物質，都係導電的溶液，叫做電解質。所有導電液體(液態的金屬除外)和熔化了的固體鹽類等等，都是電解質。

電流引起的化學分解，只有在以下兩個條件滿足之後才能發生：

1. 電解質必須是化合物。
2. 電解質必須能導電。

所有的酸、鹼、鹽，皆符合上述之兩項條件。又電解時鹽類也可以溶解或成熔融狀態存在。

純水不導電，故不能被電流分解。

【電話】(Telephone)

將聲音變成電脈衝，經過導線的傳送，輸到受話的地方，然後將電脈衝變成原來的聲音，重發出來。

如圖 13－370 。在電話的一條單線上有兩個主要的部分。M是發話機，R是受話機，B是在這電線裏產生電流的電池。假設你在M的發話機前講話，於是它就如前所述，從這聲音所起的振動造成了聲波W。聲波從你口中向著發話機M進行。發話機裏有一片固定的金屬膜D。它受到聲波的衝擊後，隨

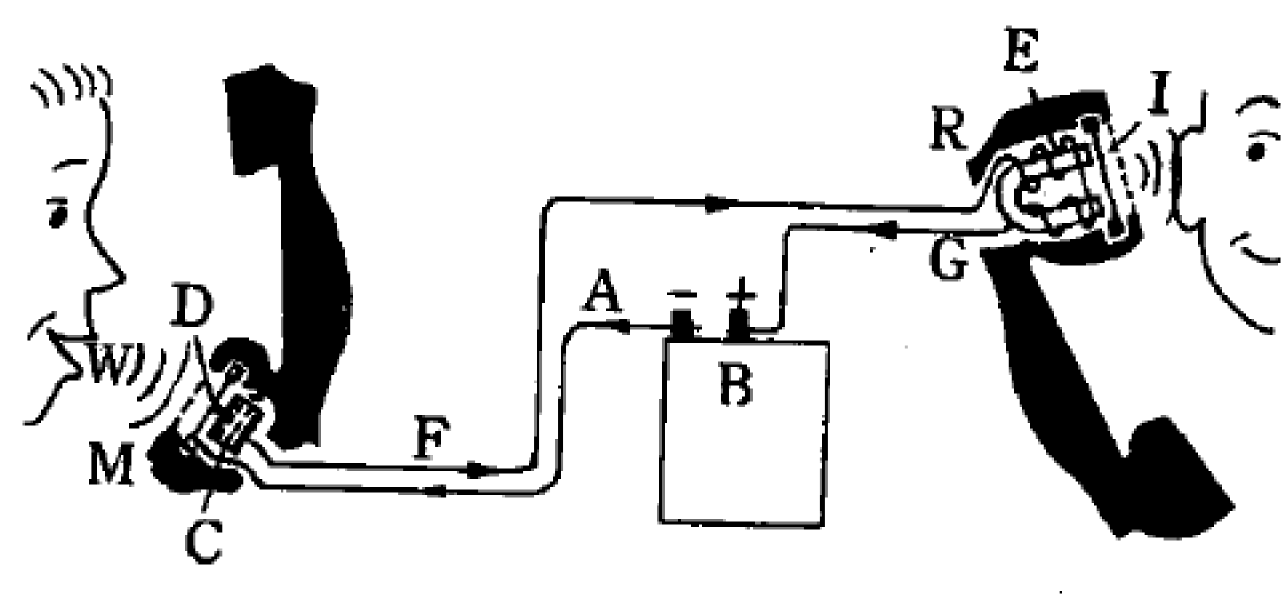


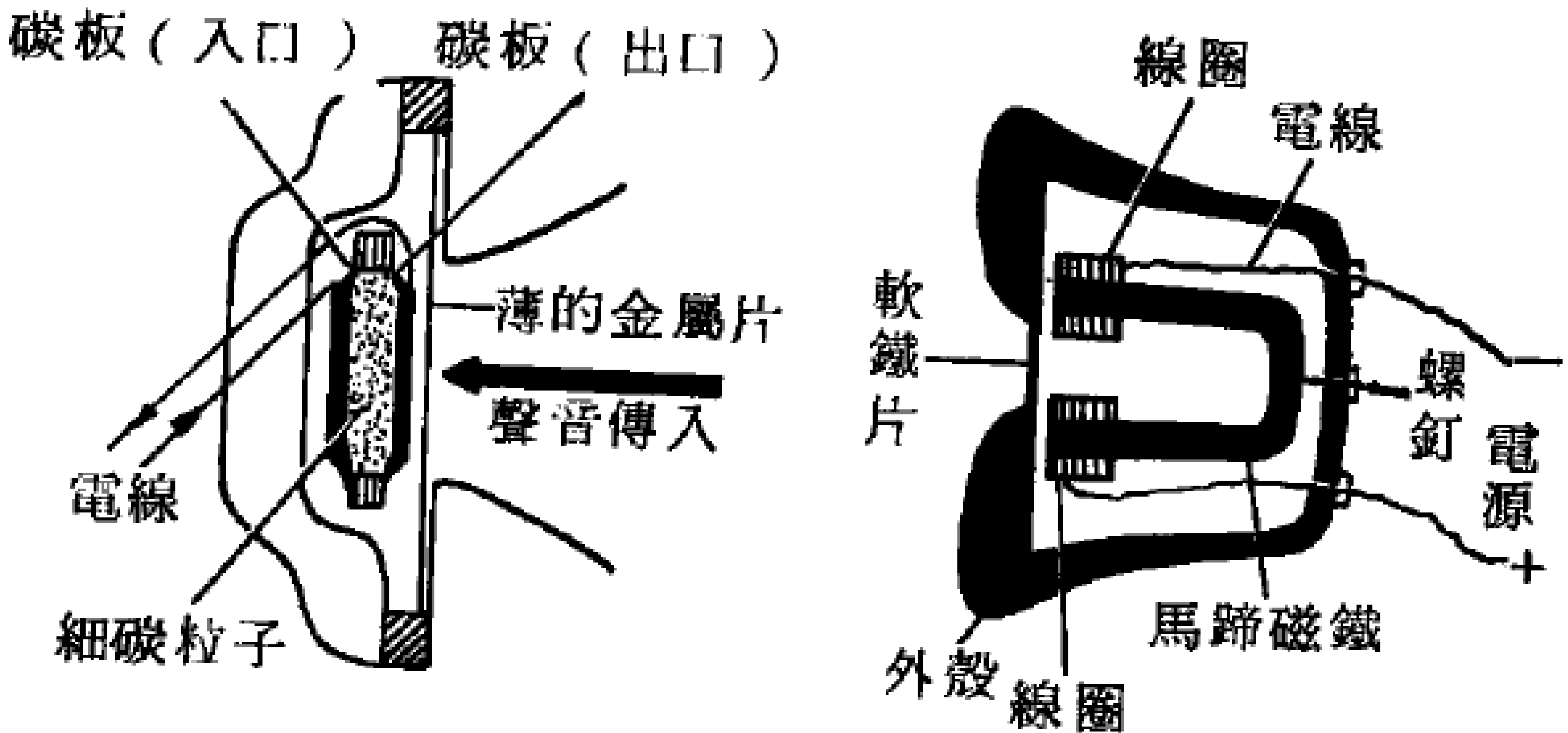
圖 13－370

著聲波而前後的振動。於是，假設你在某一時間，所發的聲音是一秒鐘一百次，這時空氣中的聲波也是一秒振動一百次，這個金屬膜同時也是一秒振動一百次。

電流在電線裏流動，電子從電池B向著A流去，穿過金屬膜D，經過一個小匣子C，通過F到一塊電磁鐵E，繞過電磁鐵的線圈，再經線G回到電池。

電話的音，是由於一個目標物在空氣中傳導來回所造成的，這種來回的移動，叫做“振動”。當一個目標振動時，它把空氣推開它的音波範圍內，正當這種聲波打擊到我們耳膜時，我們便可以聽到一種聲音，例如：當你敲打大鼓時，它的聲音振動和引起來的聲音波浪而移動，經過空氣而傳到你的耳膜上，電話的聲音從接收機筒上也一樣是受振動而移動的。

在發話機的內部（圖 13—371 (*a*)），是一個小圓型而平的小盒子，那小盒子裏面放滿了極小的碳棒粒子，這個盒子的旁邊有一塊很薄的金屬板，當你說話時你的聲音便經這塊金屬片子然後這片軟鐵片，即行振動，作上下不斷地振動，因此而輪流交互地壓動了碳棒粒子，使這些無數的粒子離開他們的位置而伸展開去，吸著導體，傳播到遙遠的對方。



(a)發話機之內部構造　(b)收話機之內部構造

圖 13 — 371

碳棒粒子，是發話機裏的一部分，當電力通過碳棒粒子時，他們經過了壓迫很容易的而伸展開去之時，由於這個道理，電力的裝設，經過碳棒的粒子一點點的振動而轉變過來造成的。

由電流通過其線路，到達收話機，收話機（圖 13—371 (*b*)）是一種電磁鐵和一塊金屬片，它們裝設在收話機上的電力，其電磁鐵的振動的變化，是由強而弱的，當其振動強的時候，其金屬片則移向前靠近電

磁鐵，當其振動是弱時，這塊金屬薄片的彈簧便離開了那電磁鐵。其振動的來回移動那片薄的軟鐵，也伸展其聲音的波浪到收話的耳朵上去，這聲音的成因，也和發話人要說話的情形相同。

總之，電話的奇妙的地方，不是聲音跟著電線旅行，而是由於電力裝設的變動而引起音響伸展的原理。

【電話交換機】(Telephone exchange)

是爲電話用戶進行互相聯絡的通信工具。用戶電話都接到交換機上。運用交換機中的機鍵設備，可將任何兩隻電話連接起來，並在通信完畢後，將其拆開。城市的用戶電話都接到電話交換所(或電信局)，交換機就裝在交換所(或電信局)裏。裝在機關、工礦企業、學校或其他較大建築物內部的交換機，稱爲“小交換機”(俗稱總機)。接到小交換機的電話機稱“分機”。分機向外通話，先經小交換機和電信局交換機接通，而分機與分機打電話時，只須由小交換機接通。電話交換機通常可分兩種：

1.人工交換機——是指用人工來進行用戶之間的接線工作的交換機。主要叫用戶打電話時，須先報出對方用戶號碼，話務員根據所報號碼，接到被叫用戶，然後雙方可進行通話。用戶講話完畢時，話務員拆開該兩用戶之間的連接。接線與拆線工作，由話務員根據交換機上不同的信號進行。

2.自動交換機——是指利用機鍵的動作進行用戶之間接線工作的交換機。主叫用戶撥動電話機上的撥號盤，發出脈衝電流，控制機鍵的動作，經過一系列自動選擇過程，接到被叫用戶。接線速度較人工快而準確，經營成本也低，但投資較大。自動交換機的制式很多：有步進制、機動制、全繼電器制及縱橫制等，最近發明的“電子型自動交換機”，由電子管或半導體組成。

【電話電纜】(Telephone cable)

電話的輸送線。

【電話線傳電視】（Phonevision）

用戶可由電話線收到電視廣播臺的節目。

【電話學】（Telephony）

藉電的設備發送聲音與接收聲音的一般知識。

【電路】（Circuit）

各種電路元件（如電阻、電容器、線圈和眞空管等）以導線連接而成的網路（*network*），包含一個或多個廻路，電流可在其中循環流動。如果把發電機與其他裝置接成一個封閉的線路，則線路上卽產生電流，也因此就會有能量傳遞的表現，這種閉合的線路，我們稱爲電路。乾電池用導線連起來時，電流就由乾電池的陽極→導線→小燈泡的燈絲→導線→乾電池的陰極→電池內部→乾電池的陽極而流。如此電流周而復始在流動，像這樣的電流的通路亦稱電路。

電路的分類，依所在的位置分爲：

1. 內電路（*internal circuit*）—— 在電源內部使電流由負極流至正極的導體或導線。

2. 外電路（*external circuit*）—— 連接於電源兩極，與內電路合成一電流的循環路線，使電流由正極流至負極的導線。

外電路發生自正向負的電流，同時內電路亦生自負向正的電流以維持電壓之定值。故全電路實同時發生同強度同方向之電流，而各處並無電子或電量的增減。

就電流通過分爲：

1. 通路（*closed circuit*）——電流於電源內外可循環流通的情形叫通路。

2. 斷路（*open circuit*）—— 導線的某一部分切斷，電流不通時的情形叫斷路。

3.短路(*short circuit*)——以電阻甚小的導線連接於幹線上的二點，爲電流作一支路，使大量電量經此導線流過，此一導線即爲短路。在裝置線路時，此種現象應予以避免以防危險。

電壓一定時，電路通，即生電流；電路斷，電流即停止。

【電路之功率】(Power of circuit)

在交流電路，不管是那種電路，其瞬時電流及電壓的一般情形，可被寫爲

$$V(t)=V_m\cos(\omega t+\alpha) \qquad i(t)=I_m\cos(\omega t+\alpha-\theta)$$

θ 表示電流比電壓落後的相位，因 $\cos\theta=R/Z$，故瞬時的功率應是

$$P(t)=V(t)i(t)=V_mI_m\cos(\omega t+\alpha)\cos(\omega t+\alpha-\theta)$$

$$=\frac{V_mI_m}{2}\cos\theta+\frac{V_mI_m}{2}\cos(2\omega t+2\alpha-\theta)$$

故平均功率可利用此式積分之，即

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T P(t)\,dt=\frac{V_mI_m}{2}\cos\theta=VI\cos\theta \qquad (1)$$

此式表示在有抗電路(*reactive circuit*)內，平均功率比有效電流及有效電壓乘積還小，這是因爲電路的感抗能夠儲藏磁能，而容抗能夠貯存電能，並且這些能量在被動元件間往返振盪的緣故，至於 $\cos\theta$ 亦被稱爲功率因數(*power factor*)。因爲 $\cos\theta=R/Z$，故

$$P=VI\cos\theta=(ZI)I(R/Z)=I^2R=V_R^2/R$$

這正表示功率是消耗在電阻器內，可改寫(1)式爲相量的形式，因爲 $V=Ve^{i\alpha}$，$I=Ie^{i(\alpha-\theta)}$，取 I 的共軛複數和 V 相乘，得

$$VI^*=(Ve^{i\alpha})(Ie^{-i(\alpha-\theta)})=VIe^{i\theta}$$

$$=VI(\cos\theta+i\sin\theta)=P+iQ$$

故

$$P=VI\cos\theta=Re(VI^*)$$

$$Q=VI\sin\theta=Im(VI^*)$$

P 就是在電阻器內消耗的功率，*Q* 特別稱爲電抗功率（ *reactive power* ），這表示瞬時功率變動的部分，它本身並不表現能量，可是在表現電路的電抗性等的時候，卻很有用。*Q* 的正負決定於電路是屬於感抗或容抗的特性。至於其單位，則利用伏特－安培（ *volts-ampere, reactive* 表示，或簡寫爲 *var* ）。

【電路的電導】（Conductance of an electrical circuit）

此係電阻的反值，即電流能通過一個導體的情況。

【電鈴】（Electric bell）

圖 13—372 表示電鈴的五個重要部分：(1)電磁鐵及其軟鐵線芯(2)振動電樞(3)接觸螺絲(4)鈴鎚(5)鈴。在這完全電路裏，有二個串聯的乾電池，按鈕開關，和連接導線。

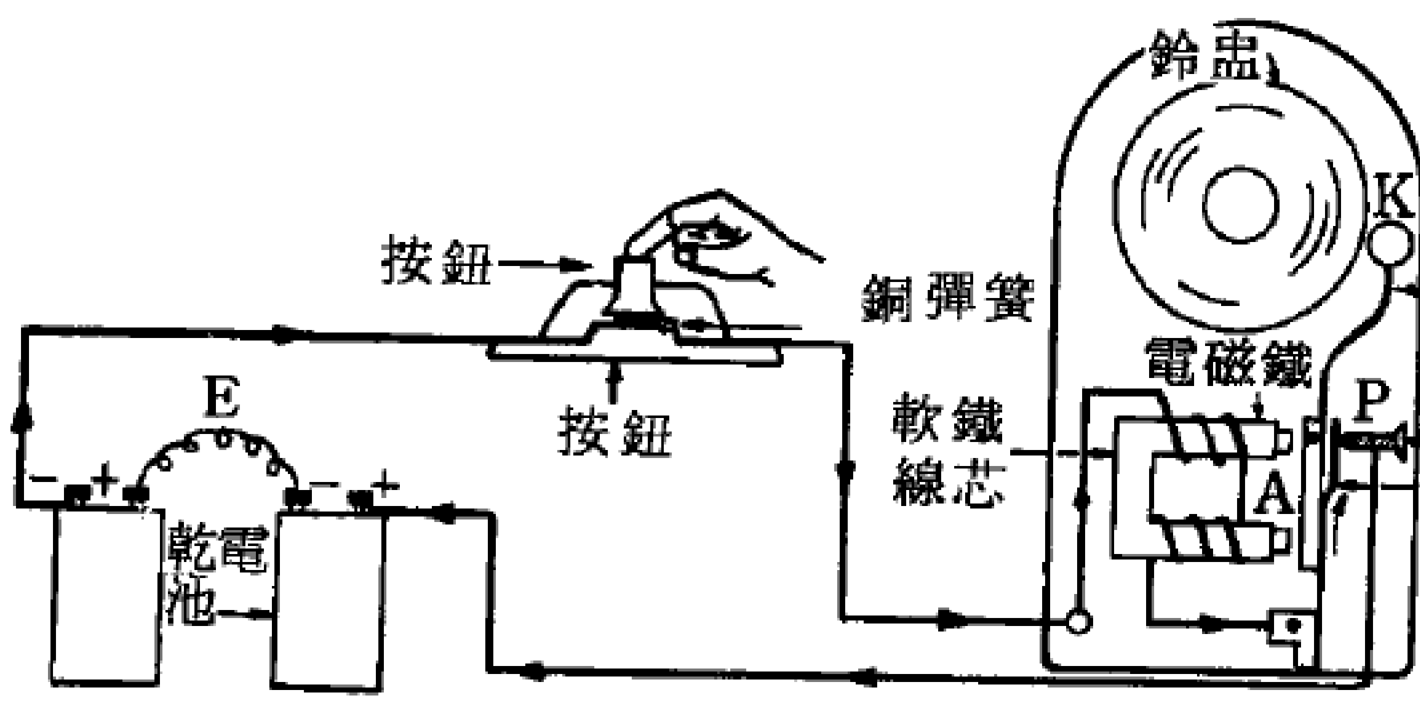
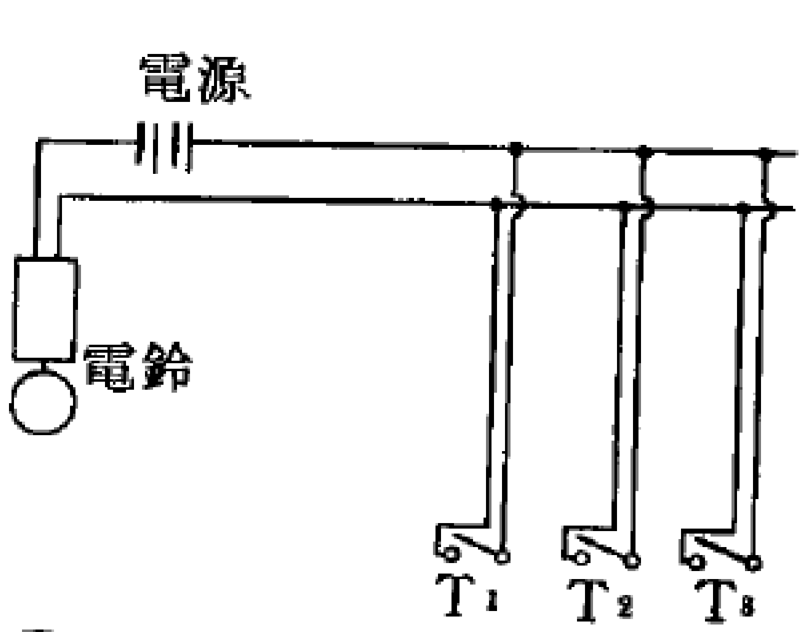


圖 13 — 372
由電磁鐵斷續地吸引
電鈴的電樞使它振動

按下按鈕後，開關接通，電路內產生電流，電磁鐵的兩極吸引電樞，使鈴鎚打到盅上。當電樞被拉往電磁鐵的時候，與接觸螺絲在 *P* 點脫離，電流中斷，電磁鐵失去磁力。電樞藉著一片彈簧的助力，回到原來位置，與螺絲又在 *P* 點接觸，電流再次產生，電磁鐵再吸引電樞，電鎚又敲在盅上，如此反覆作用，直到按鈕放開爲止（實際的電磁作用，比以上所述還要複雜一些）。一般家庭裏的電



T_1, T_2, T_3 按鈕；E 電源
圖 13 — 373
裝有數個按鈕的電鈴線路

鈴，大都以一個通常用於110伏特電源的小變壓器代替電池。又電鈴也可裝設一個以上的按鈕，其線路如13—373圖所示。

【電傳照片】(Telephoto)

藉導線傳輸電力，將畫像或照片傳至遠方。

【電傳導】(Conduction of electricity)

電由物體之一端向他端傳達時，其狀態恆不變，是謂電傳導。電阻小傳導之量多，電阻大傳導之量少，不導電體，是因其電阻等於無限大。

【電臺】(Station)

凡有一廣播發射機或具備收發報機與外間通信者。

【電臺干擾】(Radio station interference)

屬選擇性的干擾。接收機的選擇欠佳時，接收某一電臺信號時，往往受多個鄰臺侵入，發生干擾。

【電臺呼號】(Call letters)

國際公約規定各國政府須依國際呼號分配辦法，指定各該國所有電臺的呼號，並要將此等呼號通知國際電政公會。按各個國家分配呼叫信號的系統，在此系統中，一個國家的全部無線電臺都有由一個或兩個字母開始的確定的呼號。這樣的系統保證了在進行一切無線電通信時，根據呼叫信號前面的一個兩個字母，就可以識別與之通信或收到其呼號的那個無線電臺的國家。並且知道屬於何種類型的電臺。

【電腦之記憶單位】(Memory unit of electronic computer)

記憶單位爲電腦五個部門中的第二部門，可分爲三個部分：

1. 電腦的主要記憶單位——電腦的主要記憶單位又稱爲內部記憶單位，是電腦組織的主要構成部分，爲電腦所直接控制，主要記憶單位的最重要特性在於記憶單位中的每一位置(*position*)或每一字(*word*)必須是隨意取材(*random access*)方式的。換言之，電腦對於記憶

單位所儲存的資料，可以隨意取用無限次而不影響其原有資料的正確性，並且除非有必要時，對原有儲存的資料，不因被取用而消滅，相反地，尚能永久保存。

主要記憶單位的功能在於接受來自輸入單位所輸入的資料，再與中央處理機互相交換資料，並給與各種必要的指令，最後再提供輸出單位以各種輸出的資料。通常，主要記憶單位對於資料的儲存往往是暫時性的，在商業用途上，當資料正在處理的進行過程中，主要記憶單位不過僅是保存其部分資料而已。而將大部分的資料預先保存於輔助記憶單位或外部記憶單位中，俟需要時，再將之轉移於主要記憶單位中，加以處理，處理完畢以後，接著再轉回儲存於輔助記憶單位或外部記憶單位中。

通常主要記憶單位可以分爲磁心、磁鼓、磁膜。

2. 電腦的輔助記憶單位——輔助記憶單位之主要功能在於輔助電腦主要記憶單位之不足；平常，所儲藏的資料，其分量要比主要記憶單位爲多。輔助記憶單位能夠以按序取材或隨意取材的方式儲存數千萬以上的記憶單位。由於這種輔助記憶單位能夠大量儲存資料，故尤以隨意取材的方式有更大的利用價值。

主要記憶單位如磁鼓和磁膜，同樣地也能作爲輔助記憶單位，此外，尚有磁碟（*magnetic disk*）、磁卡（*magnetic card*）、磁帶（*magnetic tape*）等三種。

3. 電腦的外部記憶單位——電腦的外部記憶單位是電腦保存資料的一種媒體，所有經處理完畢或未經處理前的資料，都需要用這種外部記憶單位。通常，外部記憶單位的媒體亦即是輸出入單位的媒體，其中，包括打孔卡片、紙帶和磁帶等三種。記憶媒體除外，尚有兩種新的媒體，即磁性墨水閱讀器（*magnetic ink characters*）和光學閱讀器（*optical characters*），也可以說是屬於外部記憶單位。

【電腦之輸出入單位】(Output and input unit of electronic computer)

電腦的輸出入單位爲電腦外部儲蓄媒體(*external storage*)及資料處理系統之間的一種主要的通訊工具。通常，人類操縱電腦的方法，乃是靠程式，而這種程式的讀入電腦，又須仰賴輸入單位，輸入的資料經過電腦依程式計算的結果，再由輸出單位表達出來，往往在這種資料輸出入的過程中，佔去用時的百分比極大，頗不經濟。因此對於輸出入單位的選擇，極爲重要，故爲一般電腦的製造廠商所重視，步步力求改進與發展。

目前，一般通用的輸出入單位，計有卡片閱讀機(*card reader*)、卡片打孔機(*card punch*)、磁帶機(*magnetic tape unit*)、紙帶閱讀機(*paper tape reader*)、紙帶打孔機(*paper tape punch*)、列表機(*printer*)及磁性墨水閱讀器(*magnetic ink character reader*)等幾種媒體。

【電腦之程式制度】(Program system of electronic computer)

由於程式制度的發展，許多有關應用機器語言寫作程式時所遭遇到的困難，將大爲減少，這些程式制度所應用的符號語言(*symbolic languages*)使得電腦程式員在寫作程式的工作上，大爲輕鬆。通常，程式制度包含有兩個主要部分，即程式語言(*programming language*)及進行程式(*processor program*)。

1.程式語言——程式語言的基本目的，在於減少電腦程式員對於資料處理程式寫作的負擔，而增加電腦本身的工作負擔。因此，這種語言是由電腦程式員易懂的符號或文字所構成的，而且該種語言能由電腦翻譯成機器語言，該種程式語言，像其他一般語言一樣，有其既定的文法、標點符號和字彙，一種資料處理的程序必須首先寫成程式語言，這

種程式語言即所謂之原始程式（*source program*），該原始程式當以卡片媒介讀入電腦時即由進行程式翻譯之。

2.進行程式——所謂進行程式，即一種電腦製造廠商所供應的程式，該程式乃作爲創造機器語言程式（*machine-language program*）之用。通常，進行程式乃事先儲藏於電腦中，而後接受原始程式，並將此原始程式的各種指令譯成機器語言的指令，這種翻譯好的機器語言程式，我們稱之謂目的程式（*object program*）。

【電腦流程圖】（Flow chart of electronic computer）

爲籌劃與使用電腦的各項設備，我們須對電腦系統的操作順序和資料流程加以研究與分析，劃出一個完整體系的流程圖來。這種系統流程圖（*system flow chart*）是一個代表整個企業制度的媒體，有助於研究與分析現有的制度或設計一套新的企業制度。例如圖 13—374，說明符號與流程圖在物料管理制度上的應用。該流程圖的方向，通常爲由上而下，箭頭

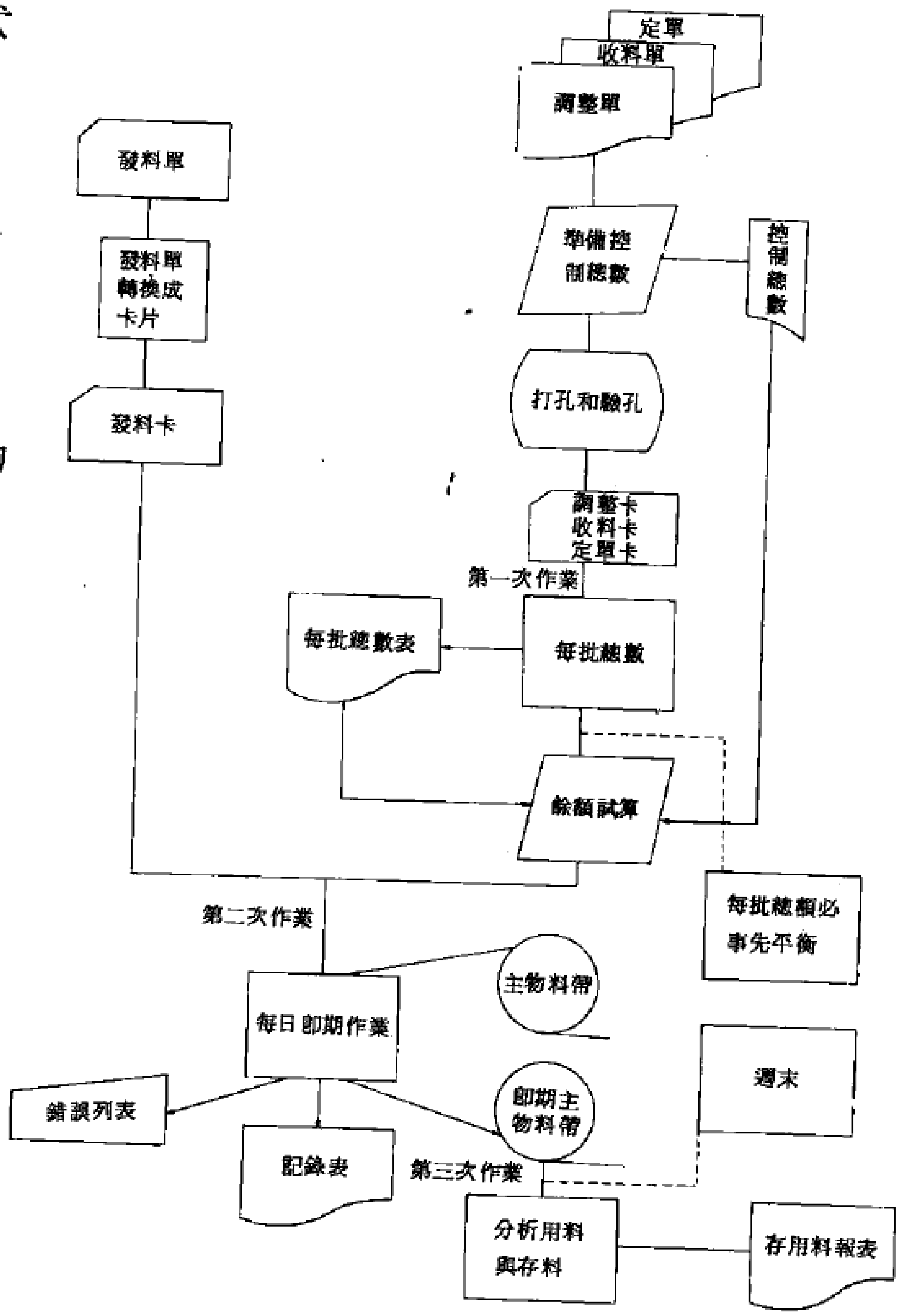


圖 13 — 374　物料管理之制度流程圖

則表示其特殊的方向，以免混淆。

流程圖需應用到下列各種符號，茲繪簡圖 13 — 375，說明於後。

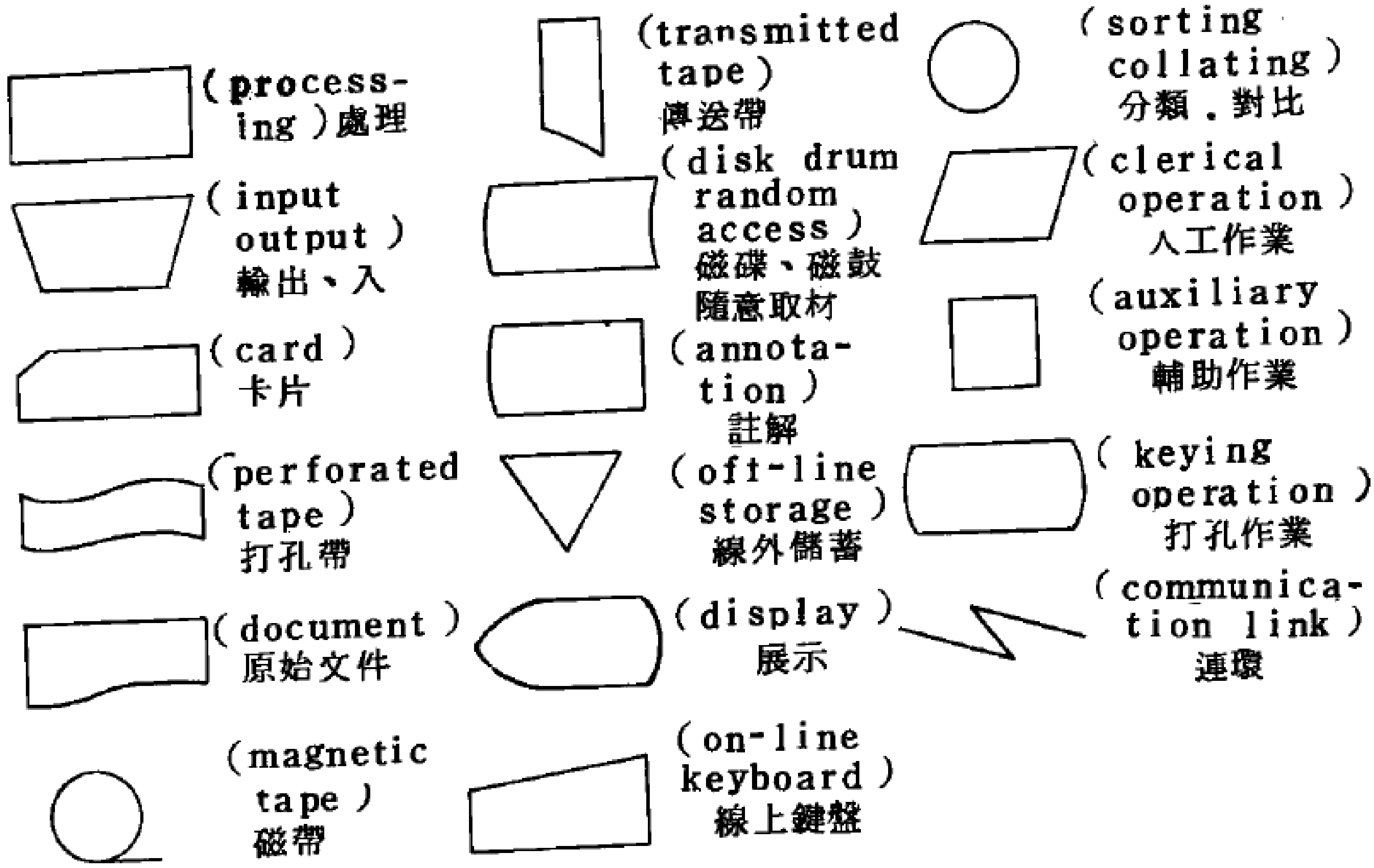


圖 13 — 375

制度流程圖所應用的符號及其意義

【電腦處理圖】(Processing chart of electronic computer)

所謂處理圖即工作處理步驟的圖形表示。處理圖中所應用的各種符號及其代表原始文件，機器或所採取的行動，而其重點則在於以圖形示出所應採取的行動之所在，由誰來執行及如何執行。這種處理圖乃最老式的流程圖表示法，也是早期用於描述人工和機器的操作程序之圖形，會計師與制度工程師乃是最早應用這種處理圖的人。

處理圖所應用的各種符號及其所代表的意義可由圖 13 — 376 觀之。通常，處理圖可分爲兩種，一種爲垂直式處理圖；另外一種爲水平式處理圖。垂直式處理圖乃用於表示有關程序的細目及僅含原始文件的程序或僅含一人之程序；而水平式處理圖乃用於表示整個程序及含一個原

始憑證以上或更複雜作業的程序。

【電腦學】(Cybernetics)

物理學家安培在一百年前，就用過這個名稱；有些人認爲安培所謂的電腦學，是指一種管理方法，又有的認爲是指操作新發明的蒸汽機操作人員，甚至柏拉圖也談過電腦學，他當時所指的，是指駕船所需的那些技術。事實上“ *Cybernetics* ”是從希臘字*Kybernan* 來的，*Kybernan* 的意思是駕駛。

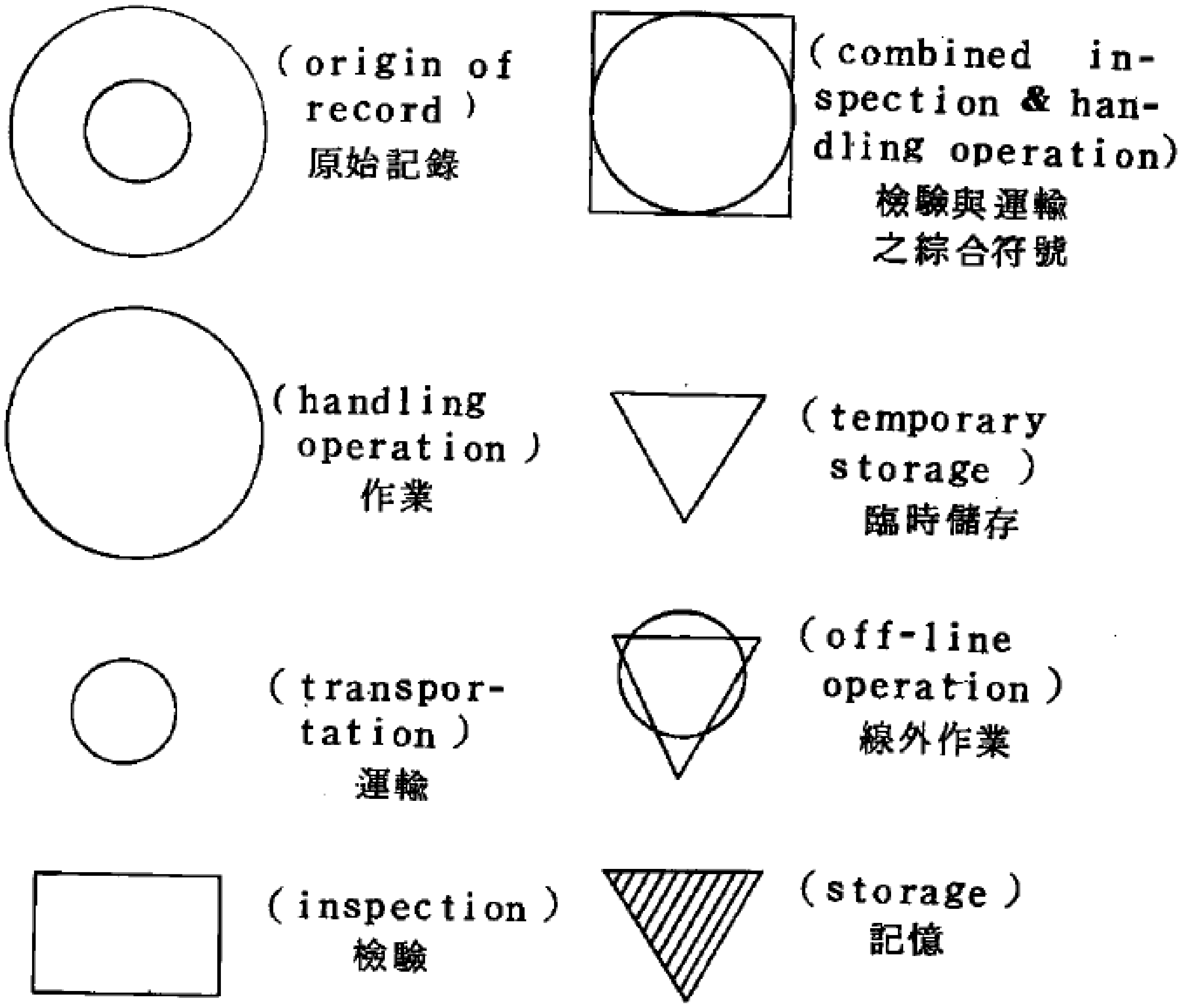


圖 13 — 376
處理圖之符號及其意義

幾世紀以來，電腦學原來的英文字“ *Cybernetics* ”的意思，與今天這個字的意思相去很遠。電腦學這一名稱的意思是指“在技術和生物學領域裏，數種科學的組合，處理控制與調整的學問”，沒有人知道什麼地方是電腦學的終點。電腦學的眞正意思是什麼，以及什麼是不屬於電腦學的，仍然被大家爭論著。

然而有一件事是可以肯定的，那就是電腦學是一種科學，它是一種屬於電子計算機世界的科學（這是何以在此把*Cybernetics*翻譯爲電腦學的原因）。第一位想出以及有系統的表示出這種所謂電腦學的，是美

國麻省理工學院的數學家諾貝特·溫那，自西元 1945 年以來，他可以說是電腦學之父和電子計算機理論家之王，也就是由於有他的構想，才能使電子計算機具有這一新的面貌（在他以前計算機已經很成功）；正是由於他，大家才認識計算機不僅是一架做加法和乘法的機器而已，它並且是一種思想機器。

電腦學所包含的部分有：(1)控制理論。(2)消息傳輸的技術和消息理論。(3)消息處理的技術。消息處理設備（特別是那些由程式計劃所控制的計算機）可使不同來源的消息，合乎邏輯的組合起來，以及用一般信號的形式把消息蓄存起來。

雖然電腦學方面的知識，最初都是由那些研究人員，從做理工科學技術方面的研究得來的，而且所得的結果已經很廣泛的被用在各方面。現在生物學家、生理學家和心理學家們也踏進了這個園地，因此使電腦成為一個有機體；將來，社會學家和經濟學家也會發現，從事這方面的研究，對他們同樣很有用。

【電慣性】（Electrical inertia）

由自感作用所生之電流與原載電流方向相反，有抵抗或斷絕電流通入的性質。

【電網燈】（Electric net lamp）

為美國加利福尼亞大學寄生蟲學教授赫姆斯博士(*Dr. W. B. Herms*)所發明，用以撲滅害蟲。燈的形狀像一隻鳥籠，用密接的金屬絲製成。裏面有一種螺旋形玻璃管，管內盛著特別的氣體，能發出一種淡藍色的白熱光，對於害蟲的引誘力很大。牠們一見到此種光，就爭先恐後地飛來。牠們的翅或身體只須一接觸到籠絲——電網，則籠絲上的電流即發出一聲爆裂的微音，而害蟲就一命嗚呼。此種燈的效力很大，燈開不上二十分鐘的工夫，燈下的死蟲，已堆積如山了。

他曾用各種害蟲和光做許多試驗。首先發現大蒼蠅的幼蟲，若置於平

常燈光之中，則不但不被燈光吸引，反見光退縮。且牠的行動的狀態，因光的顏色而異。而後他又發現某種昆蟲，只感應於某種的光和色。他曾做了一種彩色光的試驗燈。燈中央有一個扇形室，上面遮著一種頭被，和照相者所用的頭被一樣。中央室上裝著若干個走道，凸出如輪輻。輻合的一端，都嵌著石英玻璃。玻璃的背面，都有一個光管，能發出多種顏色的光。通電後，則走道的中央端上，即發出五彩的光來。

赫姆斯博士用此燈來試驗種種害蟲，他發現蘋果和梨的害蟲，能被一種特別藍色的光吸引，加州橡樹的害蟲，能被另一種特別藍色的光吸引，鹽沼蚊能被一種藍綠色的光吸引，淡水蚊能被色帶一端的紫色光吸引。最後他得到愛耳斯沃斯(*Joe K. Ellsworth*)和江士 (*L.T.Jones*)二人參加意見，於是設計造出此種電網燈。

【電熔接】(Electric welding)

兩金屬導體接觸處，電阻特大。如其中通以強電流，則該處所生大量之熱，足以使兩端紅輭；此時如由外面加以相當壓力，即可接合為一。此種手續，稱為電熔接，近代工廠中的鋼鐵熔接多用之。

【電膠】(Electrosol)

以電製造出的黏性溶液。

【電漿】(Plasma)

為一中性的游離化氣體，由等量的正、負離子混合著。它被認為是“物質的第四態”，因其性質與固態、液態、氣態都不同。高溫電漿可應用在受制熔合實驗上。

在宇宙百分之九十九的物質是由電漿所構成。電漿是除了氣態、液態及固態以外的第四態。電漿之構造物為任何具有電導的介質，而其帶電特性足夠與外加之電磁場和重力場產生作用。電漿存在於電離層、太陽風、太陽內、星際間太空、半導體、高分子化合物、金屬、乃至放電管內。電漿之存在每每以群體振盪呈現。在原子核中常見的回波，可從電

漿中檢視；在超液性氦中可觀察到的第二聲波，我們可以在電漿內發現到第二、第三乃至第四，還有更多種的聲波；在氣體力學中很普遍的震波以及亂流，我們也一樣可以看到；還有晶體中常見的非等方性，在電漿中則更爲顯著。

在高於 2,000°K 的溫度下，我們可造出電漿來。在這麼高的溫度下，許多高速度的氣體原子彼此碰撞，其動能足以使彼此的電子撞離，而成離子。在地球上，我們幾乎無法裝容如此高的溫度，因此，我們採用播種（ *seeding* ）的策略去造電漿。在這種技術中，我們在原先極難離子化的鈍性氣體，如氦（ *He* ）中， 加入少許鹼金屬，如鉀（ *K* ）等，由於鹼金屬外層電子是很鬆弛地被原子核所牽拉著，在遠低於 2,000°K 的溫度，就可輕易地達成離子化，再引發鈍性氣體之離子化，我們卽可獲得電漿。

電漿並非理想氣體，與普通氣體在低密度的狀態方程式 $PV = kT$ 有些許偏離。這也就是說，它們並不完全遵守上面的方程式，因此要想個辦法找出一個電漿的狀態方程式，使它的壓力、體積、溫度能互相發生關聯。最簡單的方法是在理想氣體方程式中引進一個修正因子，以得到電漿的狀態方程式。假如我們停下來想一想，就會了解使電漿表現不同的行爲乃是因爲它存在著帶電荷質點。電漿電離度愈大，它從完全氣體所表現的行爲偏離愈甚。這種偏離決定於電離作用的大小 α 。因此，電漿的狀態方程式可寫爲

$$PV = (1+\alpha)\,nkT$$

在上式中，（ $1+\alpha$ ）是修正因子。

電漿是高度導電的。它有自由電子能導電流，在這方面電漿同金屬一樣，高導電性使電漿對行星太空的特性有重要的影響。由於電漿中的電子動向是抵銷電場，所以不致有固定不變的大電場。

更重要的是它對磁場的影響，由於低電阻或高導電性不會有分數磁

場的作用。所以我們說磁場可以凍結在電漿內。當太陽自某一區域射出電漿雲來，會將那區中的磁場凍結在內而帶離太陽。

現在，有一些實驗室，正從事有關保存電漿的問題。普通的固體容器是不能適用的，因為當它觸及電漿時，就立刻氣化，而且使電漿冷卻到低於熔合所需的溫度，但是，很幸運的，組成電漿的帶電粒子，受磁場的作用，所以一種適當形狀的強磁場，可以產生一種壓力將電漿限制在高度眞空中，而且由眞空移出的電漿也可以保存在一種用大磁鐵或線圈筒所作的磁瓶中，除此以外，磁場強度的急遽增加，可以壓縮電漿，而這種壓縮的作用，可以使電漿得到熔合所需的溫度。

目前遭遇的最大困難是電漿的極不穩定性，以及如何在比幾百萬分之一秒長的時間內，維持適當的高溫。

【電漿物理學】(Plasma physics)

探查電漿複雜性質的學科稱為電漿物理學。在所有的物理學各部門之中與此種學科最有關係的是：電學和磁學，均為支持近代科學結構上的鋼樑。

由於太空研究以及放電物理的促使，電漿物理逐漸的發展成為公認的一門新科學。在理論上，電漿的圍堵被證明為有助於可控制熱核子反應的達成。近十五年的實驗室研究，人們的精力大都花費在如何造成新的穩定結構，藉以圍堵氫電漿於某高溫中，以便推行可控制熱核子反應，產生新的能源（用電漿產生新的能源當於另文介紹）。因之，電漿物理已儼然成為太空秘密之探討，以及熱核子新能源開闢之有力武器。

電漿物理由其構成來說，實由流體力學、動力理論及電磁學等三大古典理論所形成。在本世紀的初期，物理學上大革命判定了古典力學及電磁學為陳腐而不值得研究的學科。代之而起的是相對論及量子力學。原子之電子層的研究，以及核子物理之探討便是這些革命的成果。但是嶄新的太空研究之促進，卻把物理推向另一個相反的方向。相對論及量

子力學在這新生的部門變成了次要的地位。相反的，被判爲陳腐部門的古典力學及電磁學卻變成了電漿物理——研究太空秘密及熱核子反應之武器最重要的基幹。電漿物理學的研究，對太空通信、核子熔合（*atomic fusion*）、天體物理、地磁作用、農工醫學都有直接的貢獻。這新風水的輪廻，至少確立了電漿物理及基本粒子物理同爲時代先端的局面。

我們的宇宙中絕大部分是由電漿所構成，在高緯度的天空所看到的極光是由宇宙電漿的脈動所形成，還有我們生命的來源——太陽本身便充滿了電漿。這些事實提醒我們，我們的世界是由電漿所構成，因爲一切物質的起源便是電漿。

【電漿弧噴射器】（Plasma arc jet）

電漿弧噴射器是一種連續流的裝置，這就是說，在此種產生器內，可以產生支持一段被感覺得到的時間的電漿流。電漿弧噴射器的原理可在磁流力能量產生器、熱電及電磁的太空引擎，和電漿割切鎗中發生。它也可以與用來做重返地球的試驗及研究新金屬在高溫之下抗熱力的人

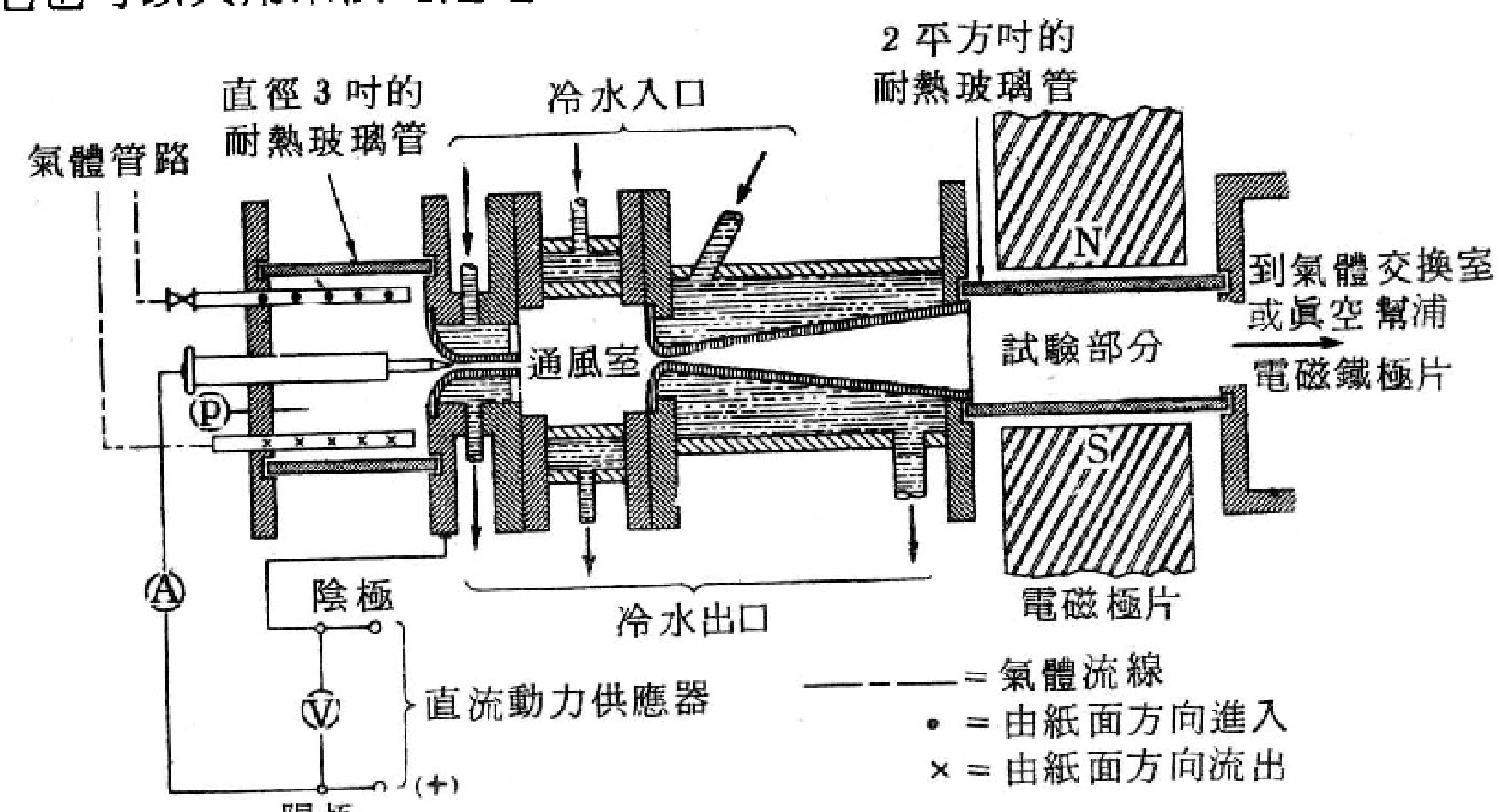


圖 13 — 377　電漿弧噴射器的設計圖

工發熱的風洞結合在一起使用。

在圖 13— 377 可以看出一個人工發熱弧光裝置的基本結構。當中性氣體通過由挿在此室的二個電極所產生的放電區域時，它被電離了。這可用忒斯拉線圈完成。當電流開始接通時，一些電子開始橫過空隙向陽極運動。在它們走更遠以前，它們與原子及空氣的分子碰撞。供給了這些原子、分子動能。在碰撞之中，一些原子電離了，因此增加了電子流的電子。等電子流到達陽極時，其體積已擴大了。不僅電子流由陰極到陽極移動；也有離子流從陽極向陰極移動。當頻率增加時，電子與大的離子、原子、分子的碰撞發生了。高動能傳到氣體，它到達了電漿態，同時溫度也升高了。在電子打擊陽極一段時間之後，陽極具有足夠的熱激動能量而放出正離子。這些正離子橫過電場向陰極移動而造成弧光。

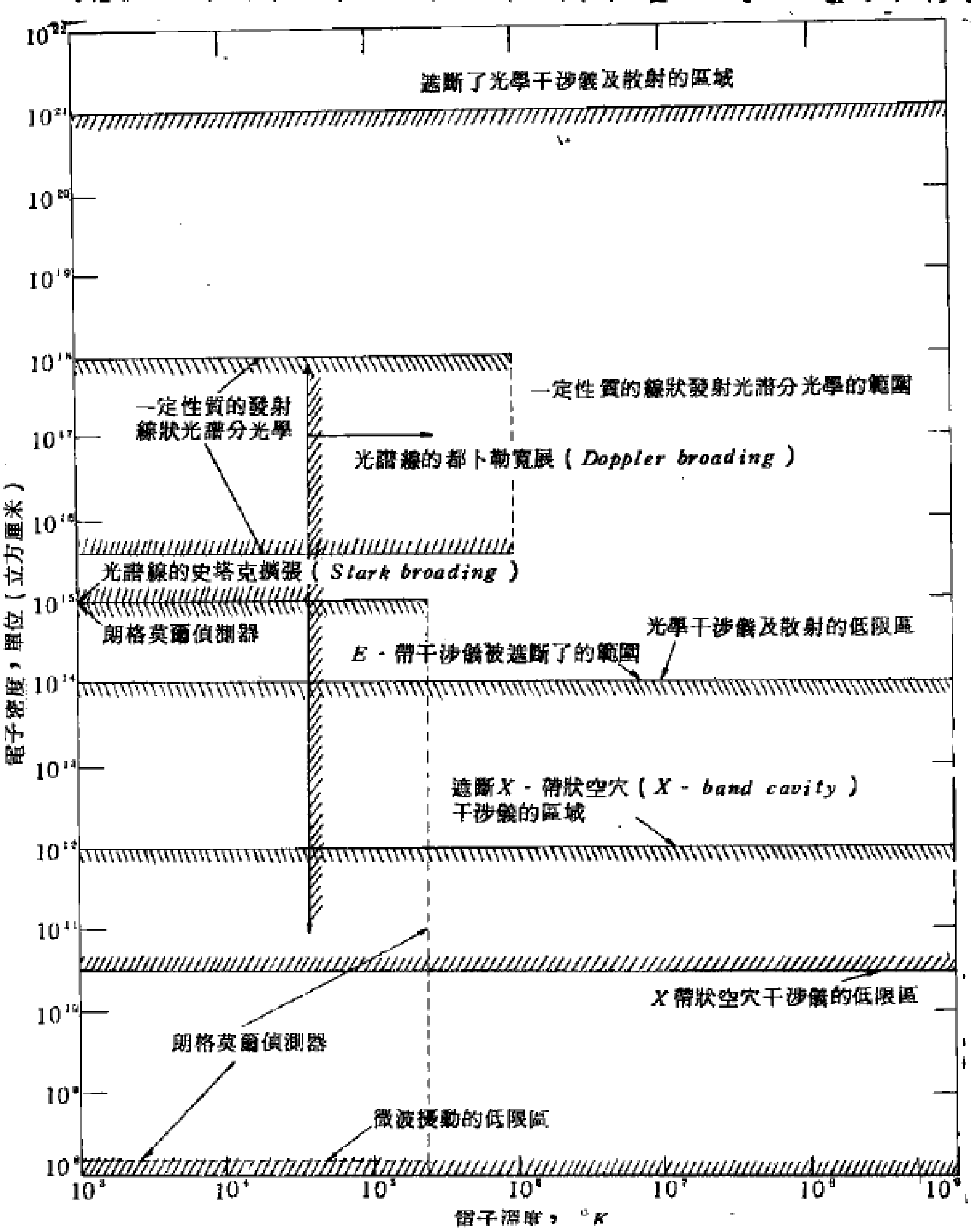


圖 13 — 378　幾個重要的診斷工具的大概範圍

【電漿診斷學】(Plasma diagnostics)

有許多理由讓我們從事電漿上的實驗測量工作，但有三個理由是最重要的。其中之一是證實由理論上所預測的結果。另外的是決定電漿設備的性質。一些研究者可能會問些問題，而且希望能用實驗技巧加以解答的：在電漿中可達到什麼溫度？離子密度是什麼？電子密度爲何？在電漿中的雜質有多少？研究人員利用實驗技巧測量電漿性質，實際上也就是診斷電漿的性質，正像一位醫生診斷他的病人一樣。所以，研究電漿實驗技巧的學科稱爲電漿診斷學。

電漿有許多必須加以測量的性質和特性，但沒有一件儀器能夠都把它們測出。事實上，當測量相同性質而儀器卻在光譜值上有相當大的可變性時，經常需要改變儀器。例如，當電子密度不大的時候，可以使用微波技巧加以決定電子密度，但是，光學上的干涉儀對電子密度較高的較爲適宜。因此，通常都把診斷的儀器安排成一圖形，這種圖形，我們曾在電漿產生裝置說明時使用過。圖 13— 378 說明有許多技術可以利用，同時，每天都有許多新的建議。在測量上並無特殊的秩序，不過，通常是先回答幾個問題：它們是(1)從光學觀點上看，電漿是稀薄的嗎？(2)電漿流的形式？(3)電漿是否均質（*homogeneous*）？

【電漿電子頻率】（**Plasma electron frequency**）

氣體原子在百萬度以上的超高溫時即成完全的電離狀態而成電漿。在電漿裏，由於電子在平衡位置上不停的位移，和在急劇的恢復中和狀態時造成激烈的騷動，這種騷

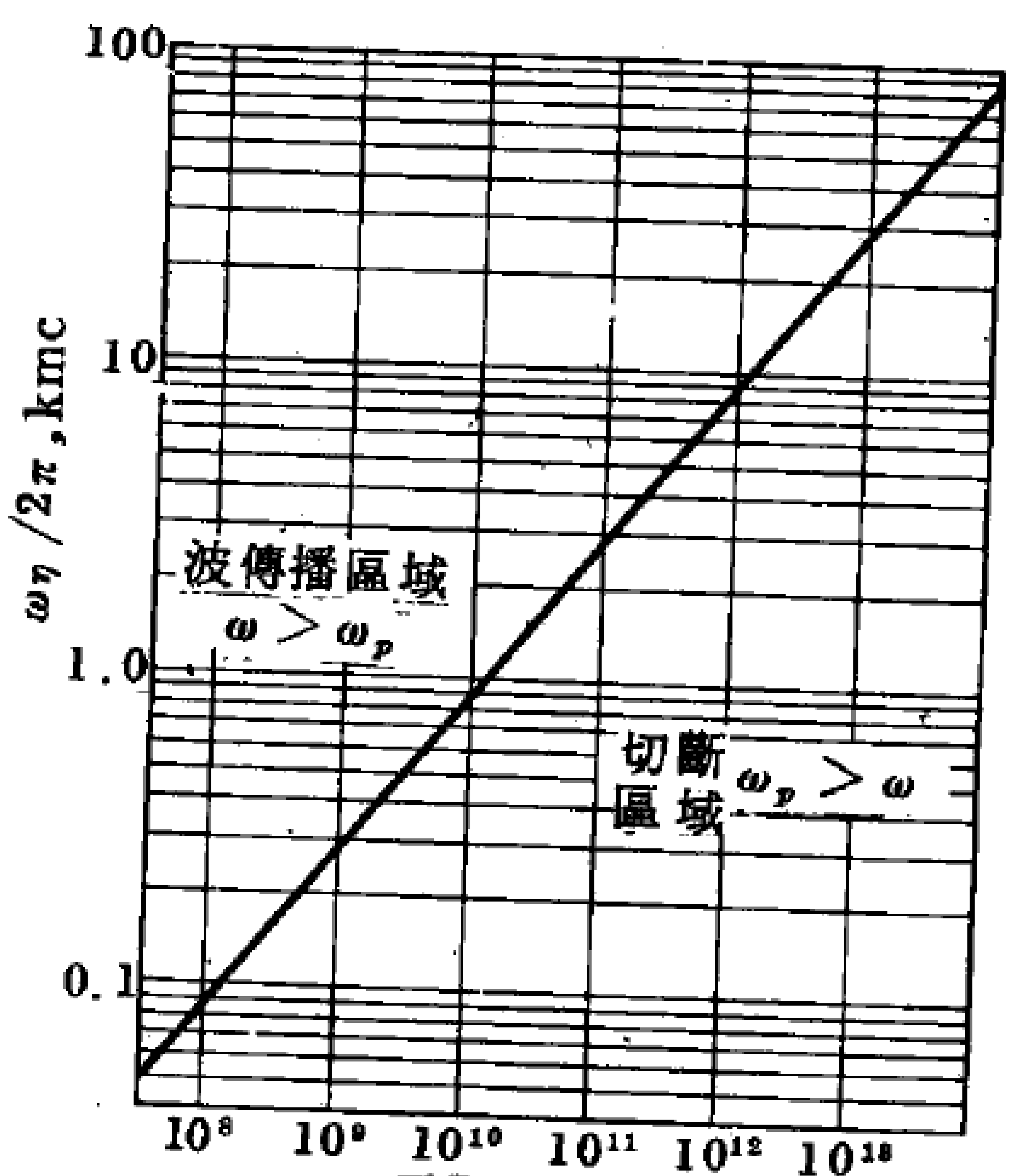


圖 13 — 379

電漿頻率對電子密度及信號傳播的關係圖

動因游離和中和作用的反復不已而造成一定規律的極高頻率（*highest frequency*)稱電漿電子頻率用ω表示。電漿頻率決定於電子的密度，太空電漿的平均電子密度約有每立方公尺10^9個單位電荷的電量。在平常的電漿體中，電漿頻率約達每秒一百萬赫（$10^6 Hz$）以上，太空艙前進壓力所造成的電漿頻率常百倍於此。計算電漿頻率的方程式爲：

$$\omega_p = e \left(\frac{n_e}{\epsilon_0 m_e} \right)^{1/2}$$

上式中ω_p爲電漿頻率。n_e爲電漿的電子密度。ϵ_0是太空介質常數，通常以眞空視之，即$\epsilon_0 = 1$。m_e爲電子的質量（$= 9.1 \times 10^{-31}$仟克）。e是電子的荷電量（$= 1.6 \times 10^{-19}$庫倫）。

要使太空微波通信免於受阻，必須使微波通信頻率高於電漿頻率，如圖13—379。但電漿頻率既隨電子密度的增高而增高，可見其頻率在太空中可因太空艙的速度和高度的不同而不同。換言之，即有相當廣濶的頻段（*frequency band*），頻率愈高則微波通信工具的設計亦愈爲困難，可見提高微波通信頻率並非爲最佳途徑。幸而由於原子能廻旋加速器（*cyclotron*）所得的經驗，知道電漿中的電子振動頻率，可受磁場的影響而改變。於是在太空艙表面加上可以調整強度及方向的磁場，隨太空艙的前進路線而對準電漿最濃密處以減低電漿頻率，太空微波通信遂得改善。太空艙所加的磁場，兼具使太空艙減熱與減速的作用，磁場的操縱又和方向舵（*rudder*）聯在一起，不須單獨作業。

【電漿電源】（Plasma electric source）

新發展之電漿電源，係利用原子反應爐中鈾棒在核子分裂時的極高溫，與反應爐爐壁間的溫度差，使鈾棒周圍的金屬銫（*cesium*）電漿離子，向低溫的爐壁匯集，形成較鈾棒周圍爲高的電漿密度，而造成電位差，爲把原子爐熱能直接轉化爲電能的方法之一；此一目的如能臻於實用，可簡化原子能發電廠的構造，提高能量轉化效率，並免除原子能

發電廠的放射性排洩物的危害。又利用高密度電漿於極強磁場中流動，使電漿體兩端感生電壓，此即磁流體發電（*magnetic hydrodynamic converter M.H.D.*）的簡單原理，也是電漿學的重要發明。

【電漿態】（Plasma state）

在氣態時，有時由於原子間的運動太快，而把原子外層的電子剝脫，使其中的粒子都游離而呈帶電狀況。這一種形態稱爲電漿態。

電漿的製造係用射頻無線電能使部分氣體離子化，再將低頻交流電通入離子氣使成爲完全的電漿，亦可用高壓在氣體中放電直接造成電漿。電漿中產生動能者，主要爲電子。核子的動能和絕對溫度成正比。1電子伏特能量的相對溫度爲絕對溫度 1.16×10^{14} 度。

【電碼】（Code）

以點劃或長短音響代表字母或數字，有線電報及無線電報利用它作通信用。

【電震】（Electric shock）

由電力改爲機械振動，有治療效用。

【電樞】（Armature）

電樞也叫轉子，是發電機和電動機的主要部分，放在機座之內，它是由許多硅鋼片和薄紙或漆相互絕緣組成一個鐵的圓柱體，在圓柱體上具有許多和樞軸平行的槽子，槽子內放著線圈，我們把這部分構造，稱爲電樞，俗稱電球。

參閱“發電機（*Dynamo or electric generator*）”條。

【電樞鐵芯】（Armature core）

是由許多硅鋼片和薄紙片或漆相互絕緣組成的圓柱體。

【電影】（Cinematograph）

以感光膜製成長帶，納入照相之暗箱內，用特別裝置使之活動，以照活動物體之像，復製成乾片，置於幻燈前，再以特別裝置，使其像以

一定之速度連續投映於布幔上，則見之如實物活動，此種裝置，俗名電影。蓋因人眼之網膜，受光之刺激後，其映像可繼續 $\frac{1}{16}$ 秒，其印像變換甚速，且前後相連接，故觀者見其像如活動。

英國人羅傑（*Peter Mark Roget*）是早期研究人眼的學者之一，他所做的工作，對電影的發展特別重要。1824 年，他發表了一些有關視覺暫留的有趣的事實。幾年後，比利時的布拉東姆博士（*Dr. Joseph Antoine Platum*）和維也納的司湯福博士（*Dr. Simon Van Stompfer*），在他們所製造的一些裝置中使用了視覺暫留的原理。這些裝置由一組圓盤組成（如圖 13 — 380），在圓盤上有一系列的小圖畫。當圓盤旋轉時，這些圖畫好像混合在一起，而生出運動的圖像來。到了1860年，美國塞勒製成了一種類似的裝置。但他所用的不是圖畫，而是他兒子打鐵釘時被攝下的一系列照片。

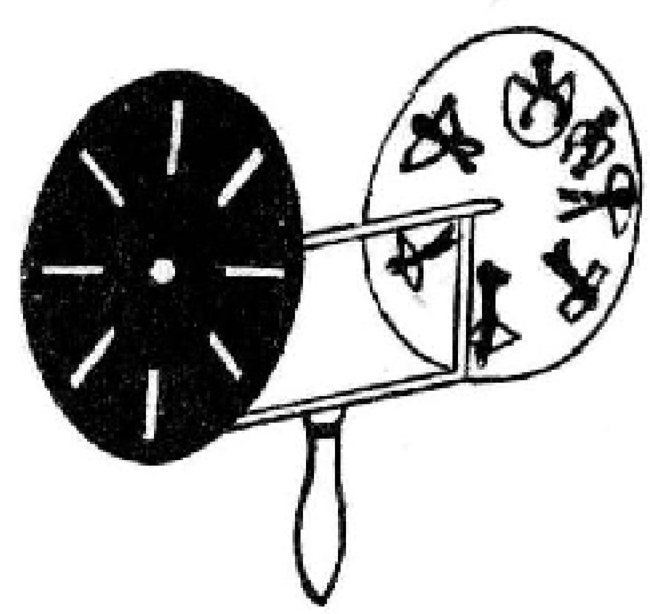


圖 13 — 380

由於一個旋轉盤不能夾持許多圖片，故這些裝置只能顯示幾個瞬間的動作。愛迪生認識到，爲了顯現一長串的動作，需要一條長的圖片帶。伊斯曼（*Eastman*）於 1889 年完成了照相軟片的製作後，提供愛迪生一種材料，能夠造成長條，容下許多圖像。愛迪生在他的電影攝影機裏使用了這種軟片，同時，在軟片後面放一強光電燈，而把一系列的靜止圖像閃現在屏幕上。圖像混合了，就有運動和動作出現。一個新興工業（電影）便告誕生。

有聲電影的一條軟片帶，將會看到一系列靜止的圖像。它們在銀幕上產生運動的圖像。還可以看到在軟片的一個邊緣附近，有一條狹帶，狹帶上有波紋線或有光和暗的區域。這種狹帶稱爲“聲跡”，如圖 13 — 381。而它實際上是在電影院裏聽到的說話、音樂和其他的聲音之連續照片。

當拍製電影時，看得見的動作被拍攝下來，與此同時，演員所說的話也“攝影”在同一條軟片上。把聲變成光，再讓這光照過軟片的聲跡，就完成了這一聲音的“攝影”。

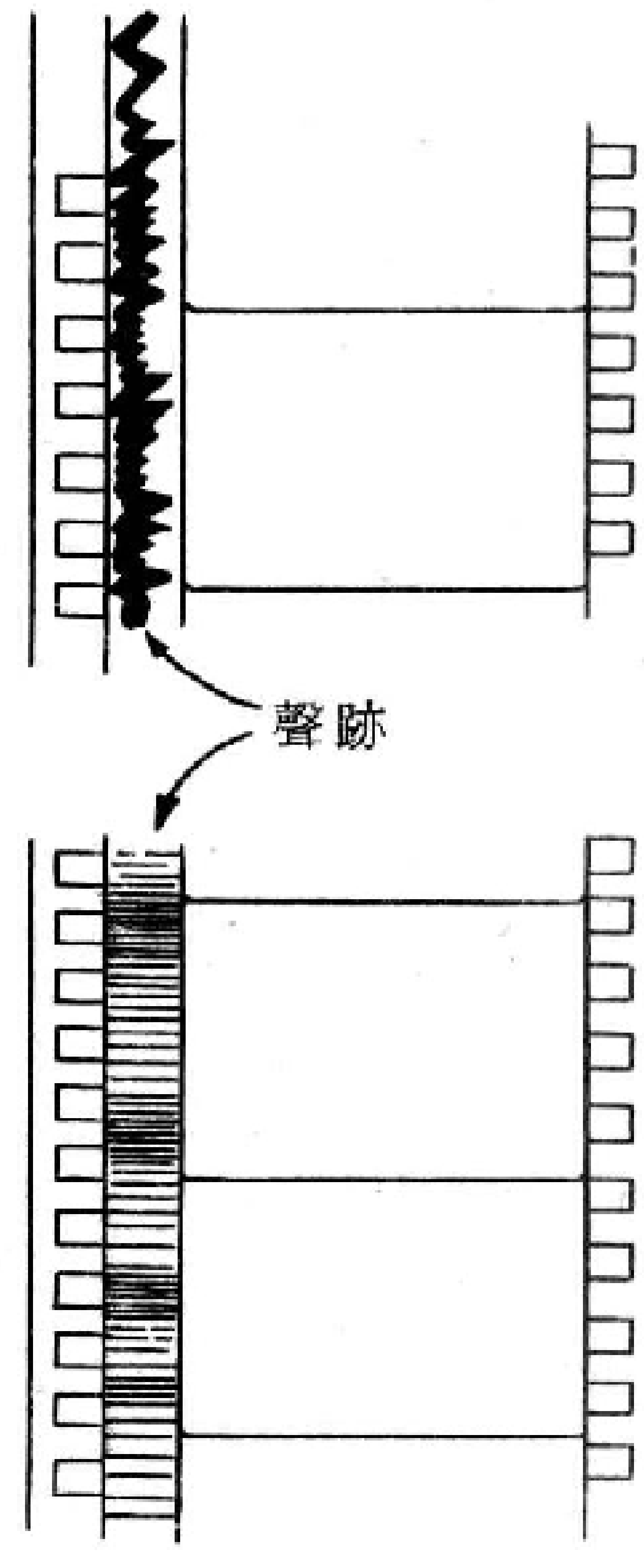
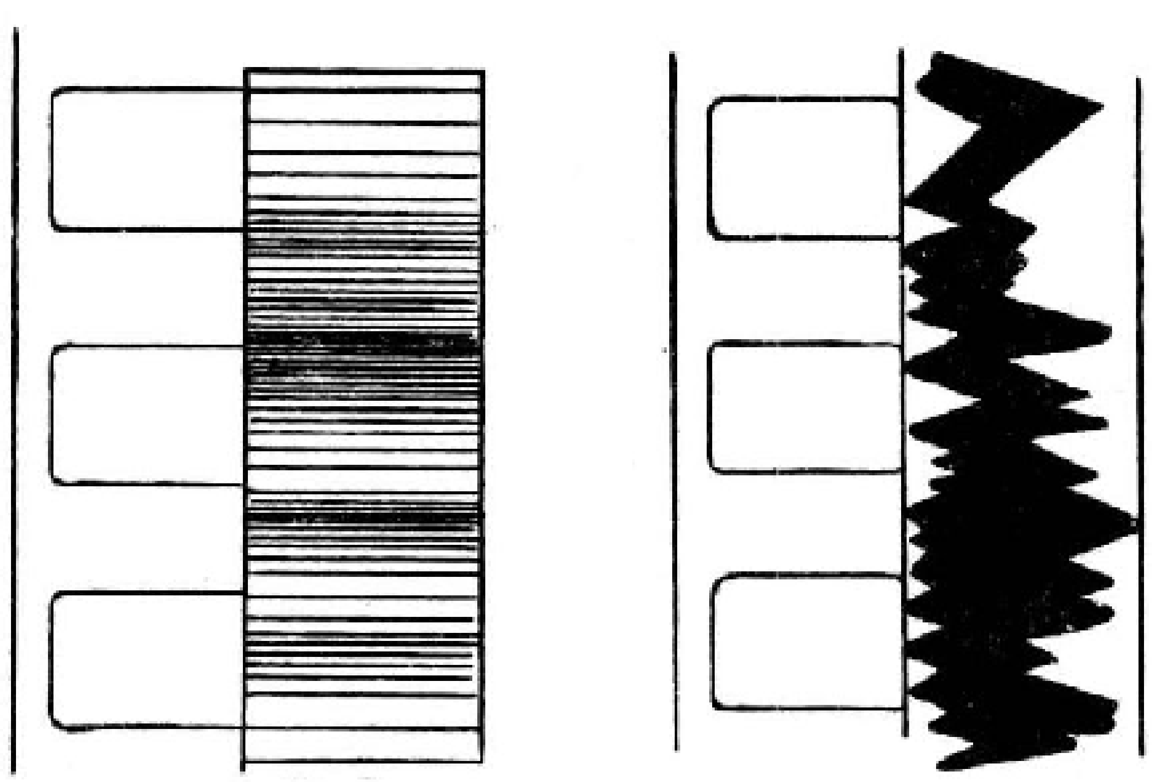


圖 13 — 381

聲音是用一系列特別的電子管來變成光的。首先，由微音器“拾起”聲音，再把聲音變成電脈衝。這情形與電話相同。把這些脈衝在電子管裏加以放大，然後帶過特別的電燈泡。這是一種能在極短的時間內大大改變亮度的管子；它能在百萬分之幾秒內，由明亮變爲幽暗，然後再由幽暗變爲明亮。

因此，聲音被變爲電脈衝，然後再變爲光脈衝。強大的聲音會產生強光，而微弱的聲音則產生幽暗的光。當這一強度改變的光照過軟片的聲跡時，就使銀原子出現的數量改變。這一作用與拍攝照片時的作用相同。當溴化銀的分子因爲光的作用而分裂時，銀原子便會出現。



(a)密度調制聲跡　(b)面積調制聲跡

圖 13 — 382

在軟片被顯影後，聲跡便會按照原來聲音之強弱而呈光暗。一部分是黑暗的，表示聲音宏亮；另一部分是光亮的，表示聲音細弱。

在上面描述過的一類聲跡，因爲它由透明變爲很黑或稠密，故稱爲密度調制聲跡，如圖 13 — 382(*a*)。第二種聲跡是由波紋線組成的。由於被波紋線遮蓋的

暗區是變化的，故稱爲面積調制聲跡，圖 13 — 382(*b*)。用於電影放映機時，兩種聲跡具有同樣的效用。

光電管是有聲電影放映機的心臟。它的任務是把軟片聲跡上的聲像重新變爲聲音。

光電管是特別的電子管，它包含一個彎曲的金屬片和一條金屬棒。金屬片上塗以某種特別的材料例如銫（ *Cs* ）。當光照射在這種物質上時，便放出電子。這類物質的原子對其某些電子的控制力並不十分強，當光線照射這些原子時，電子便受擊而得到釋放，稱爲"光電效應"。在光電管中釋放的電子，跨過空間，飛向金屬棒。換言之，電由金屬片流向金屬棒。

當光強時，將有許多電子流向金屬棒，而當光線弱時，則只有少數電子流過去；因而，就產生了一股電子流，其強度隨光的亮度而變。

在有聲電影的放映機（如圖 13 — 383 ）中，光電管放在軟片聲跡之前。一支可發強光的燈放在聲跡之後。因此，光線經過聲跡而射進光電管。當聲跡是黑暗的時候，小量的光線能夠射過去；但當聲跡透明時，強光便會射過去而進入光電管中。

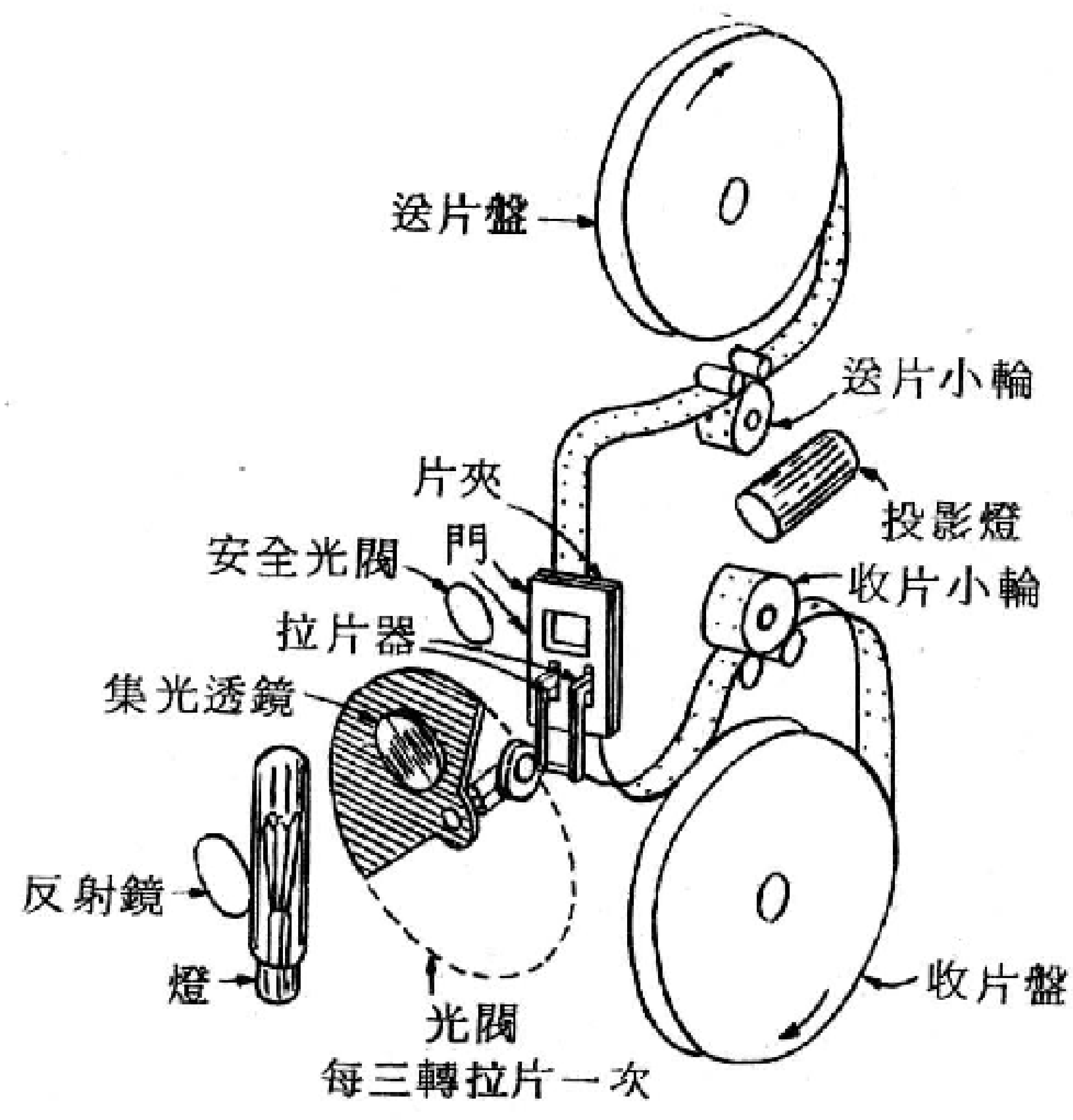


圖 13 — 383　電影放映機

聲跡的光暗區，便以這種方法產生了亮度變化之光脈衝；而這些變化著的光脈衝，就在光電管內變爲強度變化的電脈衝。然後用與無線電設

備中所用的放大管類似的電子管，把電脈衝放大。最後，大大地加強了的電脈衝就通過揚聲器，而由揚聲器把它們變爲聲音。

【電磁力】(Electromagnetic force)

電荷靜止或運動時所具有的交互作用。

電磁力約爲強力的百分之一左右。電磁力最大的作用，係把帶負電的電子，限制在一些以帶正電的原子核爲中心而極其複雜的軌道模式裏。這些軌道模式幾乎決定了物質的各種性質，像硬度、色澤、化學性質等等。人們通常經驗到的這個世界可以說是電磁力所造成的。

電磁力是由自旋等於一的介子即光子所傳帶的力，此力由於是由奇數自旋的介子攜帶，所以在相同粒子之間是排斥的。所有的磁的現象，即圍繞著運動中的電子的扭轉力（能使電動機旋轉的那種力），完全是因爲光子自旋等於一的結果。

【電磁式揚聲器】(Magnetic loud-speaker)

這種揚聲器，振動膜的運動是由磁場變化所引起，磁場直接吸引著振動膜或與此振動膜相連的簧片。磁場強度的變化是由在電磁式揚聲器線圈中通入交變電流來實現的，也就是與普通聽筒內的情況相同。

【電磁式火箭引擎】(Electromagnetic rocket engine)

也稱爲電漿火箭引擎（ *plasma rocket engine* ），其簡單結構原理如圖 13—384 所示。在此種引擎中推進劑經電流加熱使之電離而成電漿，再經磁場加速由噴嘴噴出產生推力，此種方法所能獲得的遠大於化學燃料及電熱式火箭引擎。

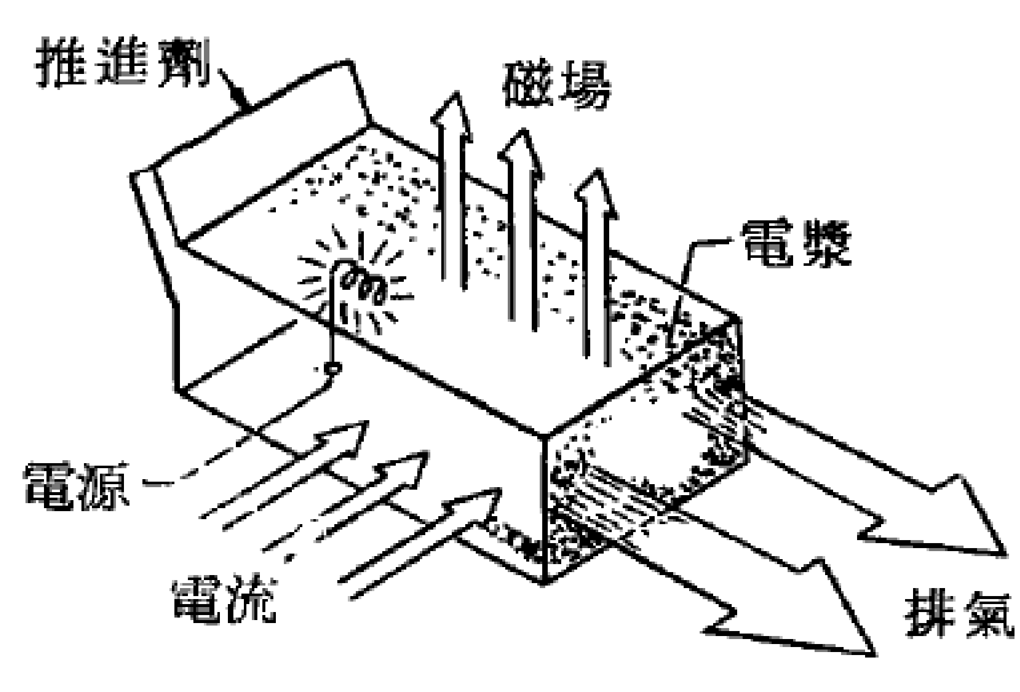


圖 13 — 384
電漿式或稱電磁式火箭引擎工作原理

電漿僅是電離了的氣體，也就是在一些組合成氣體的原子中移走了一些電子。在電漿中脫離的電子

和脫離了電子的原子（離子）相互作極不規律的旋轉及運動，很像在氣體中的原子。電漿像銅絲一樣的可以導電，也因爲如此，電漿能依圖13—384所示被加速。其加速是因當一個電流通過在磁場中的電漿時即有力量產生作用於電漿上，電漿則加速向後衝出，我們可以想像到這種火箭引擎就像一個電馬達一樣，僅不過將馬達的繞線改換用電漿而已。電漿火箭引擎非常複雜，其動作原理中包括的物理情況有些仍未能透徹了解，但是它對未來的太空開拓非常有用，對它的研究也正積極進行中。

【電磁式拾音器】（Electromagnetic pick-up）

圖 13—385 是電磁式拾音器的構造情形。將一線圈固定放置在一個永久磁鐵的磁場裏，當中是一枚唱針支軸。支軸上部用橡皮支墊，下部是樞鈕。支軸的位置原來是在正中，如圖 13—386 *(a)* 所示。當唱針在唱片的音槽裏運動隨音槽擺動時，假使向右擺如 13—386 *(b)* 所示，支軸的上端就傾向 *a* 體。因爲支軸是導磁性金屬，它的磁阻比空氣的磁阻低，於是原來磁路自 *a* 點至 *b* 點及同時自 *c* 點至 *d* 點的情形就突然改變，沿磁阻低的支軸，變爲自 *a* 點至 *d* 點。這一磁力線的變化使線圈內有電流產生。同樣，當向左擺時，如圖 13—386 *(c)* 所示，磁路沿支軸自 *c* 點至 *b* 點，因爲磁力線的變化使線圈內有電流產生，而此一電流的方向恰與 *(b)* 圖相反。唱針在音槽裏不斷的擺動，支軸就不斷的擺動如圖 13—386 *(d)* 所示，因此磁力線也不斷的交替轉變，而使線圈裏產生和錄在唱片上音頻相同交變的電流，而完成拾音的作用。

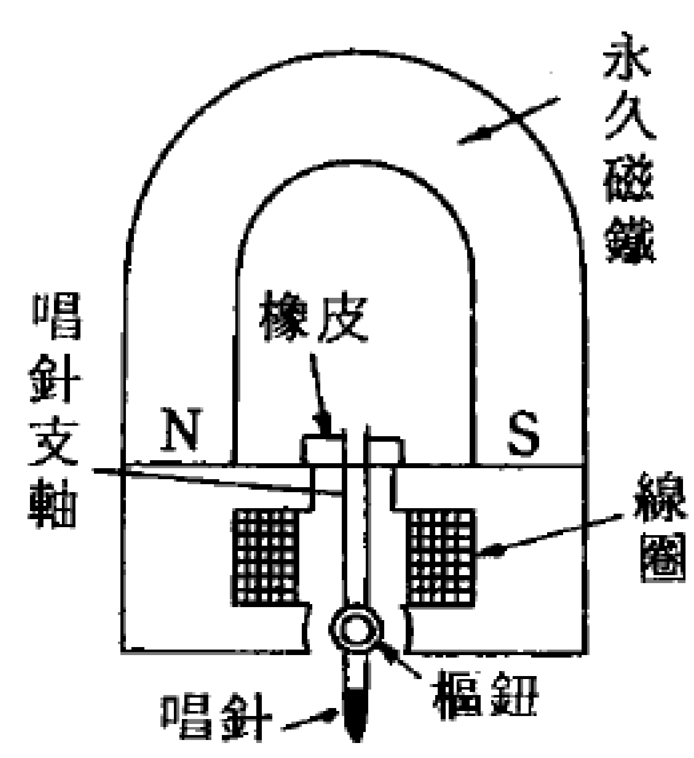


圖 13 — 385
電磁式拾音器的構造

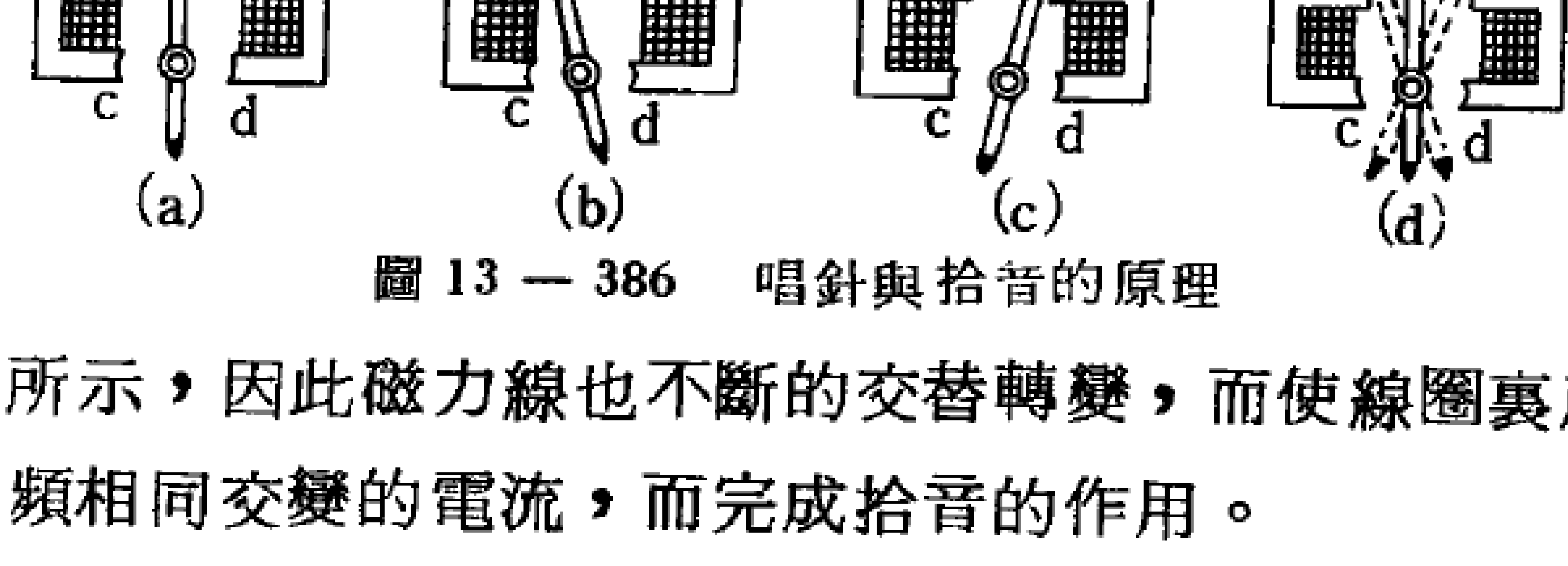


圖 13 — 386　唱針與拾音的原理

構造良好的電磁式拾音器的音頻響應範圍，可自 50赫至 15,000赫。

電磁式拾音器的輸出總阻，可由線圈圈數的多寡，分爲高總阻及低總阻二種輸出。高總阻式可以直接接至放大管；低總阻式是專供輸送線較長及須用輸入變壓器升壓而接於放大器的。電磁式拾音器的輸出水準約爲 −35 *db*（分貝）左右。

【電磁交互作用】（Electromagnetic interaction）

將二個運動中的電荷間的交互作用稱爲電磁交互作用。

【電磁位】（Electromagnetic potential）

電磁位是純量位 V 和向量位 A 的總稱。

參閱"向量位（*Vector potential*）"條。

"純量位（*Scalar potential*）"條。

【電磁制】（Electromagnetic system）

又名絕對制，根據兩磁極作用力定律所導出之單位。

【電磁波】（Electromagnetic wave）

電振盪時，部分能量以輻射方式傳播於空間所形成的電波與磁波的總稱。

因在低頻率的電振盪中，磁、電之互變緩慢，且無電能轉變爲熱，故能量可全部返回原電路而無電磁波的產生。而在高頻率的電振盪中，磁電互變甚快，無法使全部能量返回原電路，於是電能、磁能即分別在電場與磁場的週期變化下，傳佈於空間而分別形成電波與磁波。

電磁波爲橫波（*transverse wave*）。兼具波動與粒子射線兩種特性，波動爲面的放射，粒子爲直線性放射。電磁波面的放射具磁場的性格，直線放射具電場的性格，故電磁波行進時建立其混合的電磁

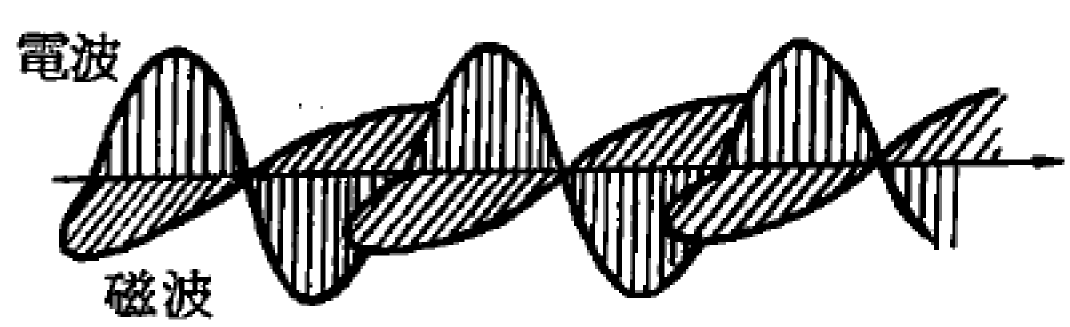


圖 13 — 387

相伴攜進的電磁波之振動方向相互垂直

場（*electro-magnetic field*）。

電磁波的磁場、電場及其行進方向互成直角。電磁波的傳播，有沿地面而傳的地面波，與向上空傳播的空中波。

地面波是波長愈長者，衰減較少，又如有障礙物時，波長愈長者，也較容易繞過障礙物傳過去。

中波或短波等空中波則是靠地面與圍繞地球的電離層之間，反復反射而傳播（電離層在離地面 50～400 公里之間）。其振幅沿傳播方向的直角方向作週期性交變，其強度與距離的平方成反比，波本身帶動能量，任何位置之能量通率（功率）與振幅的平方成正比。其速度等於光速（每秒 3×10^{10} 厘米）。 其中以無線電波更與可見光具同一特性，於通過不同介質時，發生折射、反射、繞射、散射及吸收等作用。

在空間的電磁振盪中，距離最近的電場（或磁場）強度方向相同和量值最大兩點之間的距離，就是電磁波的波長。

電磁波的頻率 ν 即電振盪電流的頻率，無線電廣播中用的單位是仟赫，速度是 c 。根據 $\lambda\nu = c$ ，就可求出波長 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 。

廣播用的波長在 10～3,000 米之間，分長波、中波、中短波、短波等幾種。傳眞（電視）用的波長是 3～6 米；雷達用的波長更短，3 米到幾厘米。

電磁波有電波、紅外線、可見光、紫外線、X射線、γ射線等。各種光線和射線，也都是波長不同的電磁波。其中以無線電的波長最長，宇宙射線的波長最短。

無線電波	3,000米～0.3毫米
紅外線	0.3毫米～0.75微米
可見光	0.7微米～0.4 微米
紫外線	0.4微米～10毫微米
X射線	10毫微米～0.1毫微米

γ射線　　0.1毫微米～0.001毫微米

宇宙射線　　　　小於0.001毫微米

電磁波特性係馬克士威（*Maxwell*）於1865年解釋光的特性時，經電磁學的數理推證中闡發；1890年，復經赫兹（*Hertz*）於火花放電的實驗中發現諧振現象後，證實電磁波的存在，並證實無線電波與光波，僅由其頻率之高低以決定其形式，無線電波頻率較低。

電磁波中的各種不可見光，可經由威爾遜雲霧室（*Wilson's cloud chamber*）實驗中，藉照相底片的感光顯示其行跡與能量。可見光可由稜鏡（*prism*）析出其七色的光彩。無線電波則可由示波器（*oscilloscope*）顯示其波型並算出其頻率。

馬克士威的光爲電磁波學說，並未能確切符合光波之特性，由光電效應（*photo electric effect*）實驗證明，光之動能大小與光之強弱無關，且光能無法均勻分佈於波前（*wave front*）。此一事實，直至愛因斯坦藉量子論發明其光之能包說後始獲溝通。但無論如何，量子論只有加強光爲電磁輻射的立論。而無線電波具有與光相同之特性，且較光線具有更強之穿透力及反射、折射、散射、繞射與吸收等特性，已爲實驗所完全證明；而且自微波技術發展後，已能充分地各別予以完善的利用。

【電磁波的都卜勒效應】（Doppler effect of electromagnetic wave）

在聲波的都卜勒效應中，當接受者與振源及介質有相對運動時，接受者所接收到的頻率就會改變，而與振源所發出的振動頻率不同。在電磁波中也有類似的現象，不過電磁波的都卜勒效應需要另外考慮。因爲電磁波的傳遞並非由於介質的運動，即無所謂振源與介質的相對速度；又電磁波在眞空中的傳播速度對所有的觀察者，不管他們的相對運動爲何，都一樣是光速。因此，電磁波的都卜勒效應，須用相對論的原理來

計算。

一平面諧和電磁波對某一個慣性參考坐標內的觀察者所呈現的波形可用 $\cos(kx-\omega t)$ 乘上一個適當的振幅因數來表示。對另一個慣性系內的觀察者，x 和 t 兩坐標則須代以 x' 和 t'，即改寫成 $\cos(k'x'-\omega't')$。其中 x' 和 t' 須用羅倫茲轉換從 x, t 轉換過來；而 k' 和 ω' 與 k 和 ω 也不見得會相同。又從相對論的另一假設，知 $kx-\omega t$ 的函數形式經此轉換後應保持不變。即應有

$$kx - wt = k'x' - \omega' t'$$

利用羅倫茲轉換，上式可被寫成

$$k\frac{x'+vt'}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - \omega\frac{t'+vx'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = k'x' - \omega't'$$

或
$$\frac{k-\omega v/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}x' - \frac{\omega-kv}{\sqrt{1-v^2/c^2}}t' = k'x' - \omega't'$$

故
$$k' = \frac{k-\omega v/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \qquad \omega' = \frac{\omega-kv}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

又因爲 $\omega = ck$，上兩式都可以被化簡得

$$\omega' = \omega\frac{1-v/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

這就是電磁波的都卜勒效應，表示兩觀察者 O 和 O'，當 O' 在沿 X 軸對 O 有一相對速度 v 時兩者所觀察到的頻率 ω 和 ω' 間的關係。 如果相對速度 v 很小時，即 $v \ll c$ 時，我們可以把分母近似爲 1，上式就變成

$$\omega' \cong \omega(1-v/c)$$

這是和 $\lambda' = \frac{u}{u-v_L}\lambda$ 相當的，可將該式的分母依二項式定理展開（假定 $u \gg v_s$），與分子相乘後只保留一次項，即得 $\nu' = \nu\left(1-\frac{v_L-v_s}{u}\right)$。其中 $v_L - v_s$ 表示接受者對振源的相對速度，即相當於上式中的 v（$\omega = 2\pi\nu$）。

如果兩觀察者的相對運動並不是沿著光的行進線，則進一步的計算

指出

$$\omega' = \omega \frac{1 - (v/c)\cos\theta}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

其中θ是波傳遞方向與相對運動方向的夾角。假定O對光源是靜止的，而觀察者O'逐漸遠離O，則O'觀察到一個較低頻率或較長的波。這種現象在星的光譜中屢被發現而稱爲紅向移動（*red shift*）。這是因爲星球遠離我們而去時，其所發出的可見光譜卽向紅色（或較長）光波移動的結果。由此我們可以估計這些星球遠離的速度。

【電磁波譜】（Electromagnetic wave spectrum）

具有電磁波特性的各種輻射能，按其頻率或波長而排列成一電磁波譜，如圖 13—388 ，由極低頻的聲波電能、超音波、無線電波、熱波（卽紅外線）、光波、紫外線、X射線、γ線至宇宙線，成一連續的系列。在電子學立場，所有電磁波單位均以頻率爲主，而以波長爲副。在光學

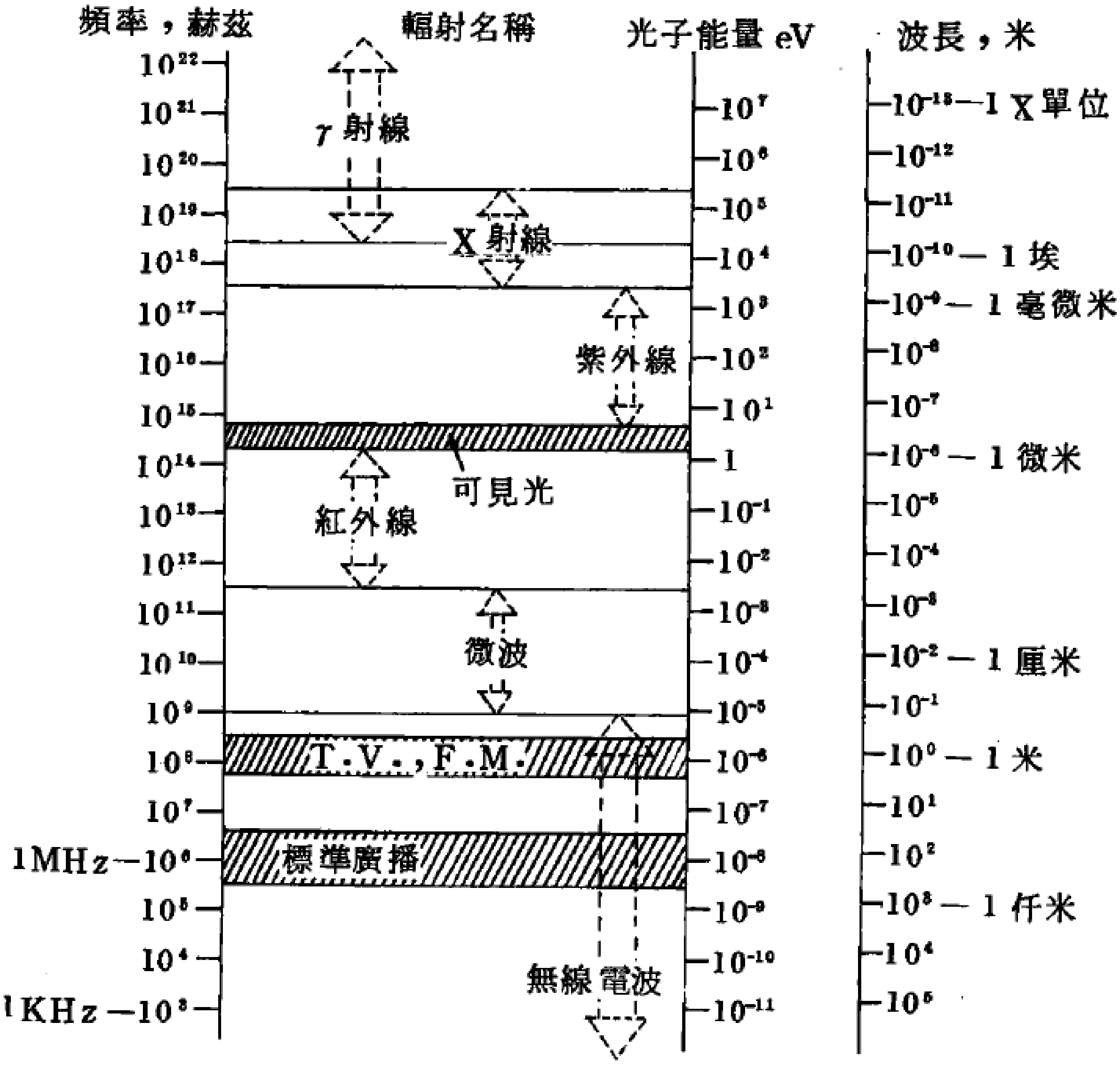


圖 13 — 388　電磁波譜

之習慣上，則光波範圍以上之電磁波均以波長之特定單位埃(Å ; *angstrom*) 爲測量單位，太陽光之平均波長爲 5,500 Å 。

頻率與波長之關係爲：

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

式中 f 爲頻率，單位赫 (Hz) 。 c 爲光速，單位每秒公尺。λ 爲波長，單位米。光速爲每秒 3×10^8 米，或 186,218 哩，每秒能繞行地球的七圈半。

圖 13 — 388 陳示電磁波譜。所有這些波本質上均屬電磁波，且在自由空間中均有相同的速率，只是波長、生波的波源和用以量度的儀器有所不同。電磁波譜並無一定的上下限。圖 13 — 388 中標示的區域代表在此頻率區間中，有通用的實驗器具，諸如通用的振源和探測器等各域與其它區域重疊，例如，以微波技術 (微波振盪) 器或以紅外線技術 (白熱光源) 均能產生波長爲 10^{-3} 米的輻射。

此處定義 " 光 " 爲能影響眼睛的輻射。圖 13 — 389 陳示一假設的標準觀察者對不同波長之輻射的相對視力靈敏度，顯示可見區域的中心約爲 5.55×10^{-7} 米，這種波長的光產生的視覺爲黃綠色。

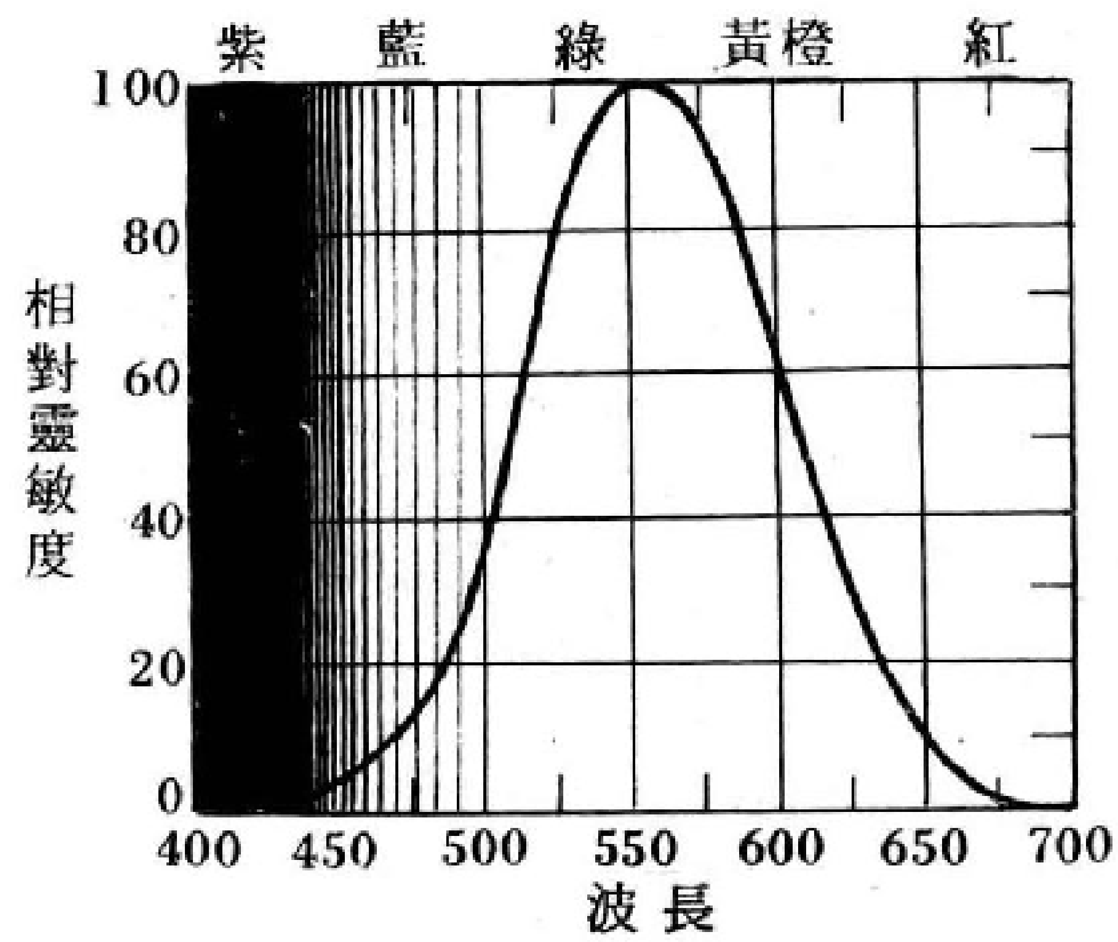


圖 13 — 389

因視力靈敏曲線在長波及短波長處逐漸趨近於軸，故可見光譜並無確定的極限。若隨意定視力靈敏度降至其最大值的 1 % 處之波長爲極限，則此極限約爲 4,300 Å 和 6,900 Å ，兩極限的波長相比不到兩倍。若在此限度外的輻射甚強，眼睛仍能探測到。在物理學的許多實驗中，

可用照相底片或感光靈敏的電子探測器代替人眼。

依照波長的長短以及波源的不同，電磁波譜可大致分類如下：

1. 無線電波（*radio frequency waves*）——波長從幾千公尺到 0.3公尺左右的電磁波即屬於此類。換句話說，這些波的頻率從幾個*Hz* 到 10^9 *Hz* 。一般的電視或無線電廣播的波段就是用這種波。通常，這是利用振盪線路產生的電磁波。

2. 微波（*microwaves*）——波長從 0.3公尺到 10^{-3} 公尺或頻率從 10^9 *Hz* 到 3×10^{11} *Hz* 的波。這些波多用在雷達或其他的通訊系統一般是利用眞空管等電子儀器來產生的。因相對於無線電波而言，它的頻率是相當高的，因此一般用*U.H.F.*（*ultra-high frequency*）代表這個波段。

3. 紅外線（*infrared ray*）——波長從 10^{-3}公尺到 7.8×10^{-7} 公尺（或 7,800 Å）或頻率從 3×10^{11} *Hz* 到 4×10^{14}*Hz*的電磁波。這些波是從分子或灼熱的物體發出的。

4. 可見光（*visible light*）——這是我們所能感光的極狹窄的一個波段。波長從 7,800 Å到 3,800 Å或頻率從 4×10^{14} *Hz* 到 8×10^{14} *Hz*。當然由於各人視覺能力的好壞不同，能見的範圍總會有點出入的。光是原子或分子內的電子運動狀態改變時所發出的電磁波。由於它是我們能夠直接感受而察覺的唯一的電磁波，因此在整個物理的發展史上佔有極重要的地位。過去一直獨立爲光學（*Optics*）。現在，既然我們已經知道它只不過是電磁波的一極少的部分，我們也就可以把它和其他的電磁波一起交互來研究，尤其是有共通性質的部分。一般來說，光是可見的，研究起來方便一點，在其他的波段裏也常常引用這方面的名詞；比方說，一個有一定波長或頻率的電磁波，不管是屬於那個波段的，都以單色波（*monochromatic wave*）稱之。

5. 紫外線（*ultraviolet ray*）——波長從 3.8×10^{-7} 公尺到

6×10^{-10} 公尺或頻率從 $8\times10^{14}\,Hz$ 到 $3\times10^{17}\,Hz$ 的波。這些波的產生原因和光波類似，常常在放電時發出。由於它的能量和一般化學反應所牽涉到的能量大小相當，因此紫外光的化學效應最強。

6. X射線（ X ray ）——這一部分的電磁波譜，波長從 10^{-9}公尺到 6×10^{-12} 公尺，或頻率從 $3\times10^{17}\,Hz$ 到 $5\times10^{19}\,Hz$ 。 X射線大致是由於原子內裏層的電子的能階跳渡或快速的電子在原子核的電場內減速時所發出的。它對被它照射到的原子或分子會產生很大的效應。

7. 加瑪線（ *gamma ray* ）——波長從 10^{-10} 公尺到 10^{-14}公尺以下或頻率從 $3\times10^{18}\,Hz$ 到 $3\times10^{22}\,Hz$以上的電磁波。這些波是從原子核內發出來的，放射性物質或原子核反應中常有這種輻射伴隨著發出。γ 射線的穿透力最強，對生物的破壞力也大，因此在操作時需有很厚的保護障礙。

從以上驚人的波長範圍，我們很自然的可以想到，各個波段的電磁波在物質中的傳播情形是會有不少的差異的。

【電磁能】（ Electromagnetic energy ）

電磁場所具有的能量。這個能量是組成電磁場的電場（ ε ）與磁場（ B ）之能量的總和。因為在電磁場中，由於電場可以產生磁場，由於磁場也可產生電場，所以電磁場的能量可以直接由電能（ E_ε ）變為磁能（ E_B ）及由磁能變為電能。電磁波之電場及磁場有關之能量密度為

$$E_\varepsilon=\frac{1}{2}\epsilon_0\varepsilon^2 \quad 及 \quad E_B=\frac{1}{2\mu_0}B^2$$

利用 $B=\varepsilon/c$ ， $c=1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ ，則磁能密度為

$$E_B=\frac{1}{2\mu_0}B^2=\frac{1}{2\mu_0c^2}\varepsilon^2=\frac{1}{2}\epsilon_0\varepsilon^2$$

故 $E_\varepsilon=E_B$，此即一電磁波之電能密度等於磁能密度，其總能密度(E)為

$$E=E_\varepsilon+E_B=\epsilon_0\varepsilon^2 \quad (平面電磁波之能量)$$

電磁波密度，即單位時間通過單位面積之能爲

$$I = Ec = c\epsilon_0 \varepsilon^2$$

能量及動量有密切之關係，因此電磁波除了帶有能量之外，亦帶某一動量，因電磁輻射傳播之速度爲 c ，所表之能量與動量之關係式

$$p = vE/c^2$$

欲得一電磁波單位體積之動量 p ，令 $v = c$ ，則得

$$p = \frac{E}{c} \qquad (1)$$

可將上式之向量式寫爲

$$\vec{p} = \frac{E}{c}\vec{u} \text{（平面電磁波之動量）} \qquad (2)$$

式中 $\vec{u}$ 爲傳播方向之單位向量，此即爲向量 $\vec{\varepsilon} \times \vec{B}$ 之方向。雖然(1)式係表一平面波在任意能量 E 時單位體積之動量，但在傳播之方向應有一對應之動量 $p = E/c$ 。

假設一電磁波具有動量，則其亦具有角動量，當 $\vec{p}$ 以(2)式表之時，則單位體積之角動量爲 $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$ ，此即可稱爲輻射之“軌道”角動量，類似於一軌道質點之角動量；再則，電磁波具有一內在角動量，或自旋，類似於基本粒子之自旋。對圓偏振平面波而言，可證出自旋沿著傳播方向有一分量

$$S = \pm \frac{E}{\omega} \text{（平面電磁波之自旋）}$$

視偏振爲順時針或逆時針而定。對一線偏振而言，自旋在傳播方向之平均分量爲零，總之可結論爲一電磁波除具能量外，另具動量及角動量。

因此，當一帶電粒子吸收或發射電磁輻射時，不只改變能量及動量，當然亦改變角動量，此結果已直接及間接地由實驗證實。

此理論支持了一項觀念，即二電荷間之電磁交互作用相當於二電荷

間交換能量、動量及角動量之觀念，因電磁場而生，此電磁場係促成能量、動量及角動量交換者。

【電磁場】（Electromagnetic field）

將一個電荷在其四周所產生的電場及磁場合併稱為電磁場。電場與磁場並非為兩個分開的實體，而是它們形成了一個單一的物理實體。將一電磁場分開為電場及磁場兩個部分，並不是一件絕對的程序，較正確的說，電磁場的分離與電荷相對於觀察者的運動有關。所以電與磁的交互作用不能說是分開的過程，僅能說是電磁交互作用的兩種形態。

在電場和磁場之間存在著最緊密的聯繫。不僅磁場的任何變化伴隨著電場的出現，而且電場的任何變化也伴隨著磁場的出現。所以在電磁場內，電場可以不因為電荷的存在，而由於磁場的變化所產生，磁場也可以不是由於電流的存在，而是由於電場變化所產生。因此，交變電磁場可以存在於這樣的空間範圍內，該處既沒有電荷，也沒有電流，而且也沒有任何導體。電場與磁場之間的聯繫，不僅使電磁場在沒有電荷和電流時能夠存在，而且使這個場能夠在空間傳播。交變電場在毗鄰空間範圍內激勵起交變磁場，交變磁場又在毗鄰的空間範圍內激勵起交變電場，就是這樣，一步一步地，交變電磁場就傳播於沒有導體的空間。交變電磁場可以不要導體而在空間傳播，這點就利用來進行無線電通信。

由電流（即一連續的運動電荷）產生磁場的事實顯示，一個單獨運動的電荷必定也能產生磁場。當一電荷以速度 $\vec{v}$ 運動，此速度與光速比較起來甚小，以致於使用非相對性近似法（*nonrelativistic approximation*）仍屬正確時，此運動電荷在與它相距為 r（圖 13－390）處一點 A 的磁場就為

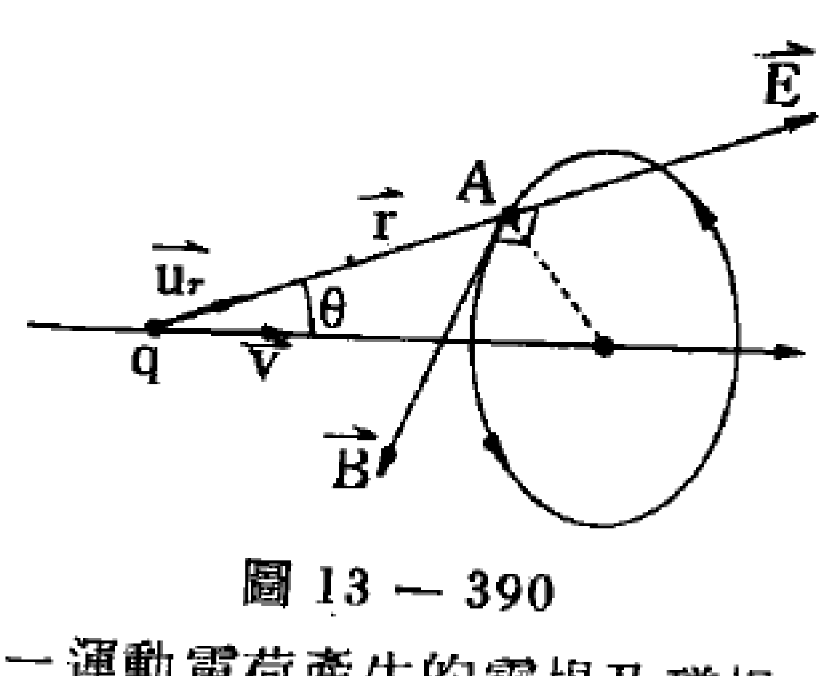


圖 13 — 390
一運動電荷產生的電場及磁場

$$\vec{B}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{q\vec{v}\times\vec{u}_r}{r^2} \qquad (1)$$

B的大小爲

$$B=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{qv\sin\theta}{r^2}$$

其方向與$\vec{r}$及$\vec{v}$垂直。如圖中所示，磁力線爲諸圓周，注意沿運動之線的磁場的大小爲零，而在垂直於運動且通過電荷的平面上之磁場有一極大值。

在A點由電荷q所產生的電場E，假定它不受電荷的運動影響，則此電場爲

$$\vec{E}=\frac{q\vec{u}_r}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

所以可將（1）式寫成如下之形式

$$\vec{B}=\mu_0\epsilon_0\vec{v}\times\vec{E}=\frac{1}{c^2}\vec{v}\times\vec{E} \qquad (2)$$

因此上式遂在由一運動電荷所產生的電場與磁場之間，建立了一有用的關係，在以上的關係式中，我們曾令

$$c=\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}=2.9979\times10^8 m\ s^{-1}$$

式中c爲光的速度或眞空中電磁信號的速度。以整數表示，其值爲

$$c=3.0\times10^8 ms^{-1}$$

所以，雖然電荷在靜止時僅產生電場，但運動中的電荷，可以同時產生電場及磁場，二者之間的關係如（2）式所示。故電場及磁場不過是物質的一種基本性質的兩個形態。

在沿載有電流的導線上，我們測得磁場B，但未測得電場E，這是因爲在導線中除掉含有產生磁場的運動電荷外，尚有固定的金屬正離子

，這些正離子相對於觀察者而言均爲靜止的，故它們並不建立磁場，但是卻產生電場，此電場與電子所建立的電場大小相等方向相反，所以淨電場爲零。然而，當離子沿一直線加速器的軸線運動時，我們得到一磁場及一電場，二者之關係以（2）式表之。

【電磁單位】（Electromagnetic units）

常用的電磁單位至少有八種不同的單位制。每一單位制都是由於某實驗證實的物理定律中的比例常數或某特定的物理量之選擇而有區別。

有些單位制源自庫倫定律，即在眞空中相距爲 r 的兩電荷 q_1 與 q_2 之間的作用力 F 與兩電荷量的乘積成正比，而與其距離的平方成反比，即

$$F = K_e q_1 q_2 / r^2$$

式中 K_e 是比例常數，可視需要或方便加以選擇。由此而得的單位制稱爲靜電制。如果定 $K_e = 1$ 爲無因次，並以達因和厘米爲力和長度的單位，則導出 $C.G.S.$（厘米－克－秒）靜電制（簡稱 $e.s.u.$），其電荷單位是靜庫倫，亦即眞空中一靜庫倫電荷與同量電荷相距一厘米時的作用力爲一達因。另外還有定 K_e 等於 $\frac{1}{4\pi}$ 者，由此導出的單位稱爲簡化之 $C.G.S.$ 靜電制。此二制中電荷的因次均爲達因 $^{1/2}$ 厘米，亦相當於厘米 $^{3/2}$ 克 $^{1/2}$ 秒 $^{-1}$。所有其他的物理量雖然在二制中的單位不同，但其因次不變。

與靜電制迥異者還有電磁制（$e.m.u.$）此制源自安培定律。設二平行長導線相距 d，且各載有電流 I_1 及 I_2，則此二導線在眞空中單位長度的作用力爲

$$F = K_m I_1 I_2 / d$$

式中比例常數 K_m 可任意選擇。$C.G.S.$ 電磁制是以達因和厘米爲力與長度的單位，並定 K_m 等於 2。在電磁制中，電流單位爲絕對安培，其因次爲達因 $^{1/2}$，或厘米 $^{1/2}$ 克 $^{1/2}$ 秒 $^{-1}$。

電量的電磁制單位爲絕對庫倫，其定義是每秒有一絕對安培穩定電

流通過某表面的電荷，因次爲厘米$^{1/2}$克$^{1/2}$，與靜庫倫差一速度的因次。與此有關的是 $2K_e/K_m$ 之比值等於光速的平方，且

$$1\text{絕對庫倫}=2.998\times10^{10}\text{靜庫倫}$$

光速在眞空中正好是 2.998×10^{10} 厘米/秒。已簡化之電磁制的 K_m 等於 $1/2\pi$。

靜電制適用於庫倫定律所推導的式子；同樣，電磁制則對有關電流間交互作用的問題頗爲方便。可是在很多物理現象中，有電交互作用與磁交互作用同時發生的情形，上述二種單位制各有不方便之處，此時就需要應用廣泛的高斯單位制。在此單位制中，磁量如磁場強度、磁通量密度等都以電磁制單位表示；而電場強度、電荷和電流等電量則用靜電制單位。爲了保持自洽性，此制中描述電磁現象的方程式中都列入光速 c 的因數。簡化的高斯制很少被用到。

十九世紀初所創的實用單位制其基本假設是電流單位 1 安培＝ $\frac{1}{10}$ 絕對安培。電量單位是庫倫，1 庫倫/秒＝1 安培，電位差一伏特相當於一庫倫電量在此二點間移動時要作一焦耳的功。歐姆（伏特/安培）及法拉（庫倫/伏特）分別爲電阻與電容的單位。但當時有些物理量卻沒有定義，如磁場強度等。

最近應用最廣泛且較完整的單位制是 *M.K.S.A.* 單位制（米－仟克－秒－安培）。此制包括所有的實用單位，並以牛頓和米爲力和長度的單位。在 *M.K.S.A.* 單位制中，*e.s.u.* 和 *e.m.u.* 制所選的常數變爲

$$K_e=8.986\times10^{9}\text{ 仟克米}^{3}\text{ 秒}^{-4}\text{ 安培}^{2}$$

及

$$K_m=2.000\times10^{-7}\text{仟克米秒}^{-2}\text{ 安培}^{2}$$

在 1950 年國際間決定絕對 *M.K.S.A.* 制以前，人們所使用的是國際單位制。此制各單位都定有一固定的標準，如一國際歐姆單位（法定歐姆）是在一定電流及 $0°C$ 時，14.4521 克，長 106.300 厘米均勻截面的水銀柱之電阻。因此此制與絕對 *M.K.S.A.* 制之間略有誤差，其

誤差數級約萬分之一。此制各單位前均附有國際的字首，字尾則與 *M.K.S.A.* 制同。

【電磁畫像管】(Electromagnetic picture tube)

陰極射線管的一種，電子射線的產生，全靠電流通過環繞射線管的頸部之偏向線圈所產生之磁場吸拒作用而完成偏向。

【電磁感應】(Electromagnetic induction)

當一導線在運動中割切一靜置磁場之磁力線時，導線兩端將產生一電動勢，此電動勢在導線經荷載而閉路時即促生電流；此即發電機 (*generator*) 所憑藉的原理。又當一磁場在一金屬轉盤上空迅速運動時，金屬轉盤感生渦流，此渦流又生一磁場，而使轉盤跟隨運轉磁場的迅速運動而轉動，若金屬轉盤換以鐵磁性物質，則作用更爲顯著；此即電動機 (*motor*)憑藉的作用。此外；若一導線置於一磁場內，縱使兩者均屬靜止，但若磁場強度有變動時，亦可在導線上感生電動勢，此電動勢隨磁場強度變化之停止而消失。此種效應，稱爲電磁感應 (*electromagnetic induction*)。此效應是由法拉第與亨利兩人同時發現的。

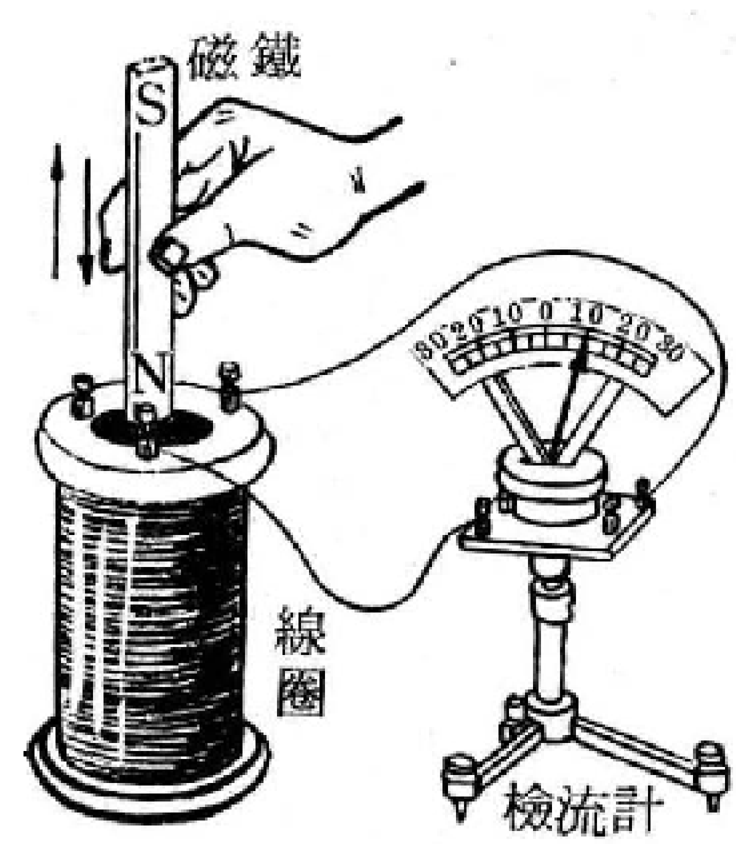


圖 13 — 391 電磁感應

若一導線在 1 秒鐘內割切 1 韋伯即 10^8 條磁力線時，此導線兩端可產生 1 伏特的感應電壓。欲使感應電壓增強，可採取各種方式：

1. 加快導線與磁場相對運動之速度。

2. 加強磁場強度，即單位面積的磁力線數。

3. 將單直導線加長，或用多根單直導線單向同時割切磁力線後串連起來；此法顯然不切實用。

4. 採取割切磁力線的最大角度。

用方程式表示感應電壓的大小，則：

$$E = BVl\ \sin\theta$$

式中E的單位爲伏特。B爲牛頓／安培米。V爲米／秒。l爲米。$\sin\theta$爲導線與磁力線間之正弦。

感應電壓又可用磁通量之變化來表示：

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

通過一表面積A之磁力線Φ，爲此一面積乘以磁場強度B與表面夾角θ的正弦：

$$\Phi = AB\sin\theta$$

倘把單直導線改成線圈在磁場中廻轉，以反復割切磁力線，則線圈的作用等於多根導線之串聯，感應電壓將隨線圈的圈數成正比增加。其感生的交流感應電壓之最大值爲：

$$E_{max} = 2\pi fNBA\sin\theta$$

上式中，$2\pi f$ 爲線圈循圓周運動時每秒轉動的弧度（*radian*），稱爲角速度（*angular velocity*），角速度$2\pi f$常用ω表示。f爲線圈每秒鐘的轉數。N爲線圈的圈數。A爲線圈的面積，單位平方米。

在交流電路中使用的變壓器（*transformer*），即利用初級線圈（*primary coil*）中交流電流隨時間而變動時發生的磁場變動，變動磁場之初級圈磁力線割切了次級線圈（*secondary coil*），使次級圈中產生感應電壓。

變壓器初級圈與次級圈之圈數比（*turns ratio*），可以隨需要而任意增減。次級圈多於初級圈者爲升壓（*step-up*）變壓器，反之爲降壓（*step-down*）變壓器。其升降電壓的比數與初、次級線圈的圈數成正比。

變壓器次級圈中的感應電壓，與初級圈電壓的極性，成 180° 的反向，即其相位是相反的。相位（*phase*）的觀念在電子工程中非常重要

變壓器初、次級間電壓的升降變換，不影響電力（*power*）的增減；即電壓升高時電流減小，總電力理論上不變。但事實上則因變壓器有各種損耗，次級的電力輸出必小於初級的供應電力；或初級的供應電力，必須較大於次級需要的電力。

【電磁振動管】（E-M vibrating tube）

振動管是一種在短時間內產生高速度波的裝置，振波是由於能量在管的方向迅速地釋放出來而產生的，並且產生極高的氣體溫度，更引起了許多其他不同的波動現象。

電磁振動管通常用來研究在電漿物理學的一些現象。其中是基本融合研究、通訊問題、重返地球的模擬實驗以及衝力產生等。電磁振動管一般用在當電子溫度為 10^4 克氏度數和更高一點的時候。質點密度的範圍從 10^{13} 到 10^{18} 電子/立方厘米。其所產生的振動速度大於 10^6 厘米/秒。這些條件決定於管的設計及其幾何形狀。如圖 13 — 392 (*a*)，(*b*)，(*c*)是最常用的三種形式的電磁振動管（簡寫為*E*－*M*振動管）。

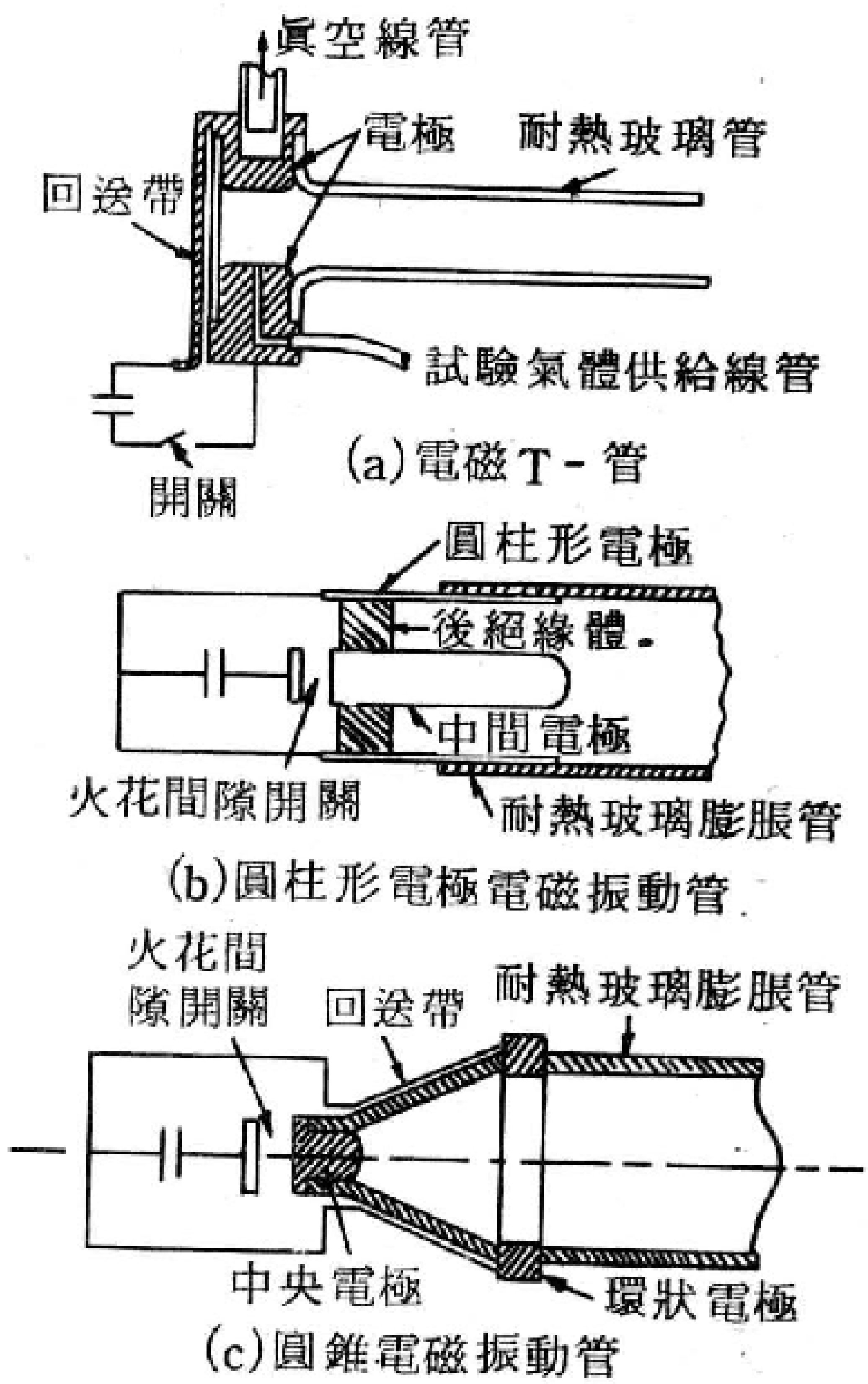


圖 13 — 392 電磁振動管的主要形式

圖 13 — 393 示圓錐體形的*E*－*M*振動管的構造。運轉現象發生在主動機部分，看圖 13 — 394，為了要產生振動，在中央電極與環狀電極之間引起了電荷的放電。電離現象決定於壓力，而通常壓力愈低，電離作用愈大。所以利用一個眞空幫浦來降低在管中的壓力。於是電容器

充電，電路開關接通了。當橫跨在二個電極空隙之間的電荷足夠多的時候，它使兩電極之間的氣體崩潰而電離。從氣體中放電，而使得能量傳給氣體，其能量即足以產生一個振動波，而此振動波會在管子下頭傳播。實際上，在放電之中所產生的高能量質點能與中性氣體質點

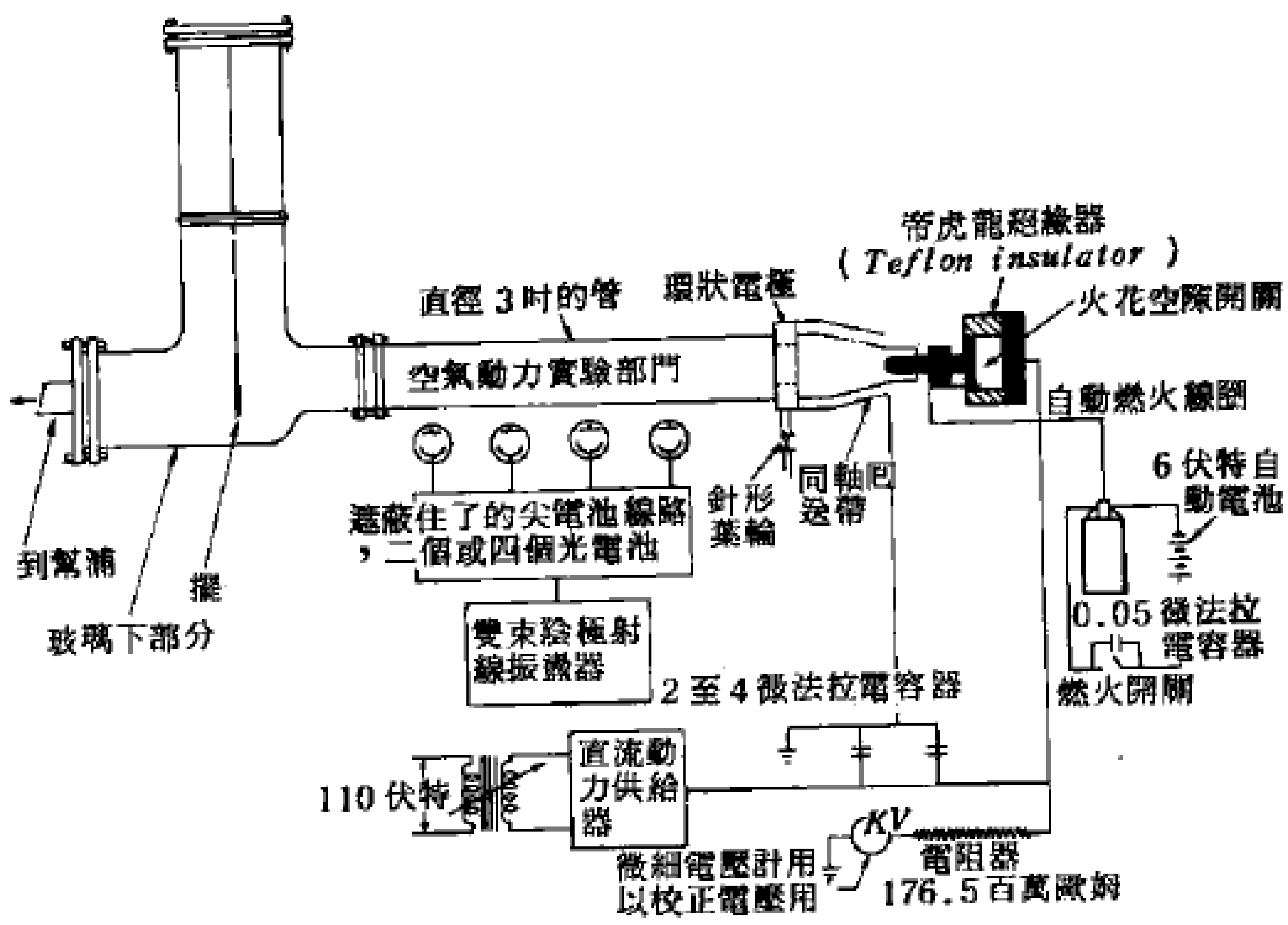


圖 13 — 393　電磁振動管的設計圖

碰撞，且可以使其電離。如此，氣體的電阻減小，導電性增加。當放電電流通過二極之間的空隙，到達另一電極時，電流直接由回送皮帶從外面流回來。

在回送帶上的電流會產生一個輻射狀的磁力線磁場，圖 13 — 394，這些磁力線垂直於在中心與環狀電極之間的電流。電流及磁場與揑縮力（*pinching forces*）$\vec{F}=\vec{J}\times\vec{B}$ 相互影響，呈輻射狀作用在電漿內。

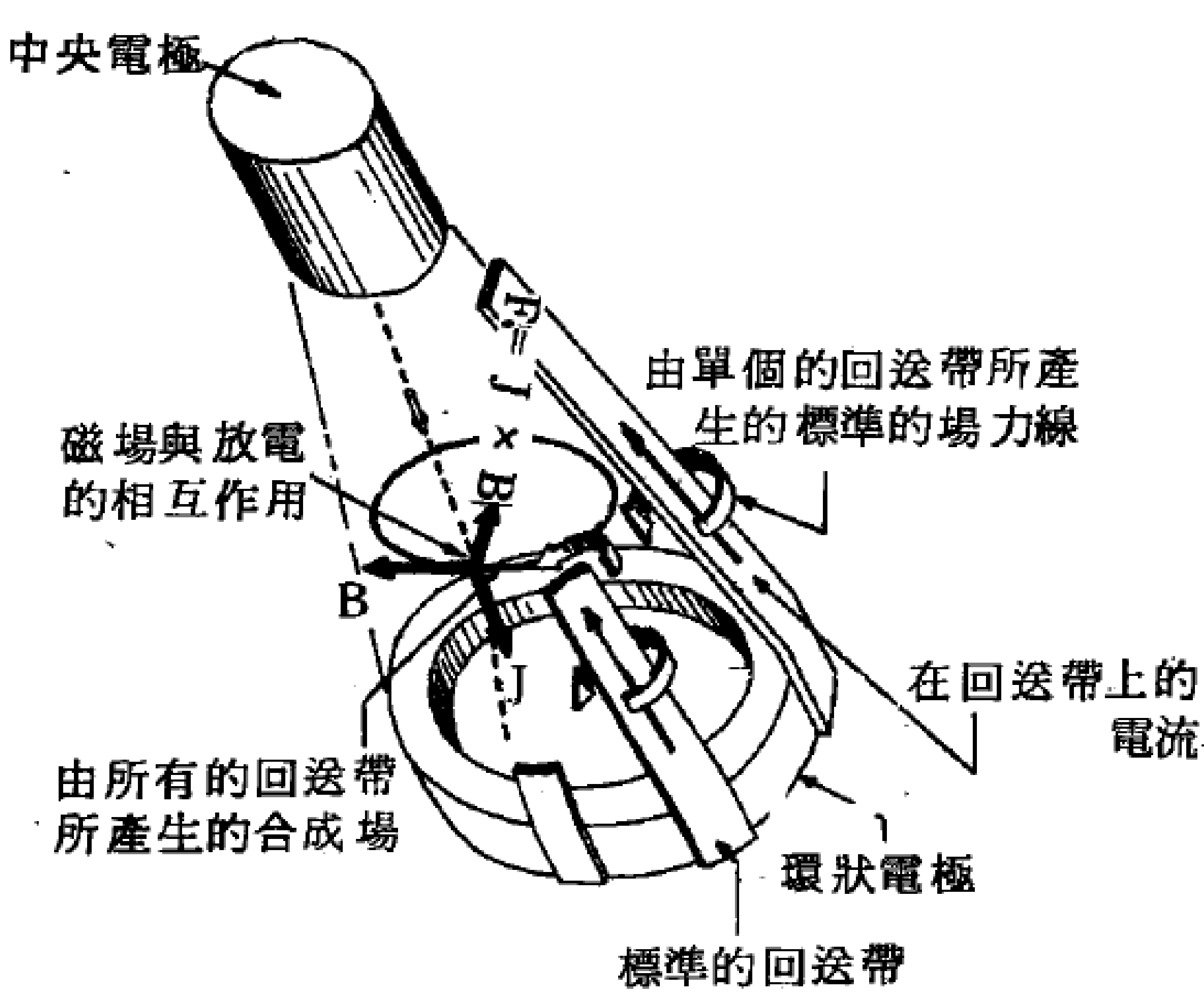


圖 13 — 394　在圓錐振動管操縱部分的揑縮效應

由於管子的幾何形狀，在圓錐部分較小的一端磁場強度較大。因此，揑縮作用

(*pinch effect*) 會在這部分先發生，而且會使在此區域的氣體比半徑較大的部分的氣體較早受熱。受熱是由於揑縮力的熱力壓縮氣體結果。在氣體被揑縮以前，熱電漿已使這些氣體電離和受熱。而熱了的氣體要求更多的電流來揑縮，這就是說，要更多的能量加在氣體上，這個過程沿著管子到環狀電極之間進行，同時，熱電漿集團推進一個高速度的振波進入觀測管。雖然壓力波是在管子較小的一端以小的能量開始傳播，它可能同化成能量 (*assimilate energy*)， 直等到它以一個大的最後壓力從中空的電極末端放出來。

【電磁學】(Electromagnetism)

電學的知識以觀察爲其根源，西元前600年卽已知摩擦過的琥珀會吸引稻草屑。磁學的研究可溯及對天然“石塊”(卽磁鐵礦)會吸鐵的觀察。這兩門科學各自發展，直到 1820 年厄司特 (*Hans Christian Oersted*) 才觀測到二者之間的關聯 (卽導線中的電流能影響羅盤的磁針)。

電磁學係新的科學，由許多研究者再予以發展，法拉第 (*Michael Faraday*) 是其中最重要者之一。馬克士威 (*James Clerk Maxwell*) 將電磁學的定律作成今日我們所知道的形式，這些定律常稱之爲馬克士威方程式 (*Maxwell's equations*)。這些定律在電磁學中的重要性，就與牛頓的運動定律和重力定律在力學中的地位相同。

雖然馬氏的電磁綜合理論深賴前輩的研究結果，但他自己的貢獻仍然非常重要。馬氏推論光是電磁的性質，純粹由電和磁的量度就能求得光速，故光學的知識與電學和磁學的知識有密切關係。馬克士威方程式的應用範圍實屬非凡，它包括所有大件電磁和光學器具的基本原理，諸如電動機、廻轉加速器、電子計算機、無線電、電視、雷達、顯微鏡和望遠鏡等。

英國物理學家赫維賽德 (*Oliver Heaviside*)，和荷蘭物理學家羅

倫玆（*H. A. Lorentz*）對闡明電磁理論均有重要貢獻。在馬氏創立其理論之後二十餘年，赫茲（*Heinrich Hertz*）在實驗室中造出電磁的“馬氏波”，就是現在所稱之無線電短波，使電磁學前進一大步。其後馬可尼（*Marconi*）和其他學者將馬氏和赫茲的電磁波作實際的應用。

在工程應用方面，經常用馬氏方程式以解決實用問題。

以馬克士威方程式爲根據的電磁學稱爲古典電磁學，對於在約 10^{-10} 厘米之微的所有電場和磁場問題都能給予正確解答。這種尺度比原子還小得多，正是該用量子力學取代牛頓力學的範圍。古典電磁學、量子力學和相對論的混合物稱爲量子電動力學，能對更極微小尺度的問題予以正確解答。

參閱“附錄”。

【電磁輻射】（Electromagnetic radiation）

一種由變化電場（電通量）與變化磁場（磁通量）之特殊組合，能彼此互相推進，成爲電磁波。這種電磁波透過空間或介質傳遞其能量，且以光速前進。

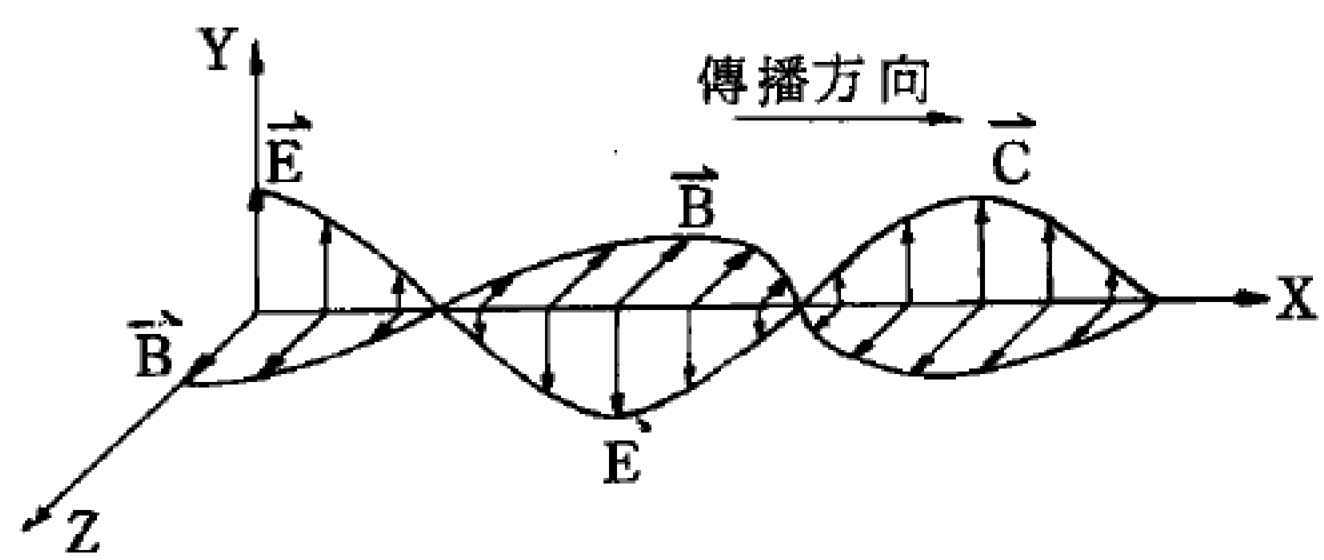


圖 13 — 395　電磁輻射

所有已知輻射之通用名稱，由短波之 γ 射線（*gamma-rays*，波長在 $10^{-10} \sim 10^{-9}$ *cm* 之間）而 *X* 射線、紫外線、可見光、紅外線至赫茲電波（*Hertzian waves*）或無線電波（波長約三萬公尺）磁均屬電磁輻射。

現於光譜上之電磁輻射稱爲電磁光譜（*electromagnetic spectrum*）。

馬克士威運用電場場周積定律與磁場場周積定律預測電磁輻射之存在

$$\Sigma E_e l = -\frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$$

$$\Sigma B_e l = \frac{1}{9 \times 10^{16} \frac{米^2}{秒^2}} \frac{\Delta \phi_E}{\Delta t}$$

（常用之電流 I 已予消去，因所討論之空間並無運動電荷，亦無靜止電荷。）

二十年後赫茲方能用實驗證明電磁波之存在。

現在已知可以用好幾種方法，使物質受激發而放出波長不同的電磁波：

(1)載有高頻率交流電的導電體放出無線電波。

(2)熾熱的固體或液體發出熱輻射（*thermal radiation*）。

(3)放電中的氣體能作可見光或紫外光的輻射。

(4)受高速電子轟擊的金屬片射出 X 射線。

(5)放射性原子造成的物質可能釋出 γ 射線。

(6)受外加輻射源照射的物質可能作螢光輻射。

電磁輻射之性質可綜述如下：

(1)所有輻射均起因於電荷之加速，都是電磁輻射。

(2)對所有電磁輻射而言，$f\lambda = 3 \times 10^8$ 米/秒（在眞空中）。

(3)所有輻射都帶有能量。當被吸收時，吸收物體卽產熱量。

(4)各種不同之物理情況產生不同之頻率 f 或波長 λ。

(5)電磁波是橫波。可見光爲電磁輻射之一。

(6)電磁輻射可在眞空中傳播。

(7)組成電磁波之電場與磁場互相垂直，且兩者又均與傳播方向垂直

。

【電磁輻射源】(Electromagnetic radiation source)

電磁波譜的許多部分(可見光、X射線、γ射線等),其源頭爲原子或原子核大小,雖然馬克士威方程式可描述這些小源頭的輻射波,但必須用量子物理學才能描述此源頭生波的機構。

已知在LC電路中產生正弦式的振盪電荷。若將傳導線圈持近電路中的電感器,則線圈中有感應電流,如圖 13—396 所示,於是能量經輸電線(*transmission line*)傳至天線,圖示的天線稱爲電雙極天線(*electric dipole antenna*)。電磁波自天線輻射,若不設法補充能量,當然會用盡LC電路中的能量。

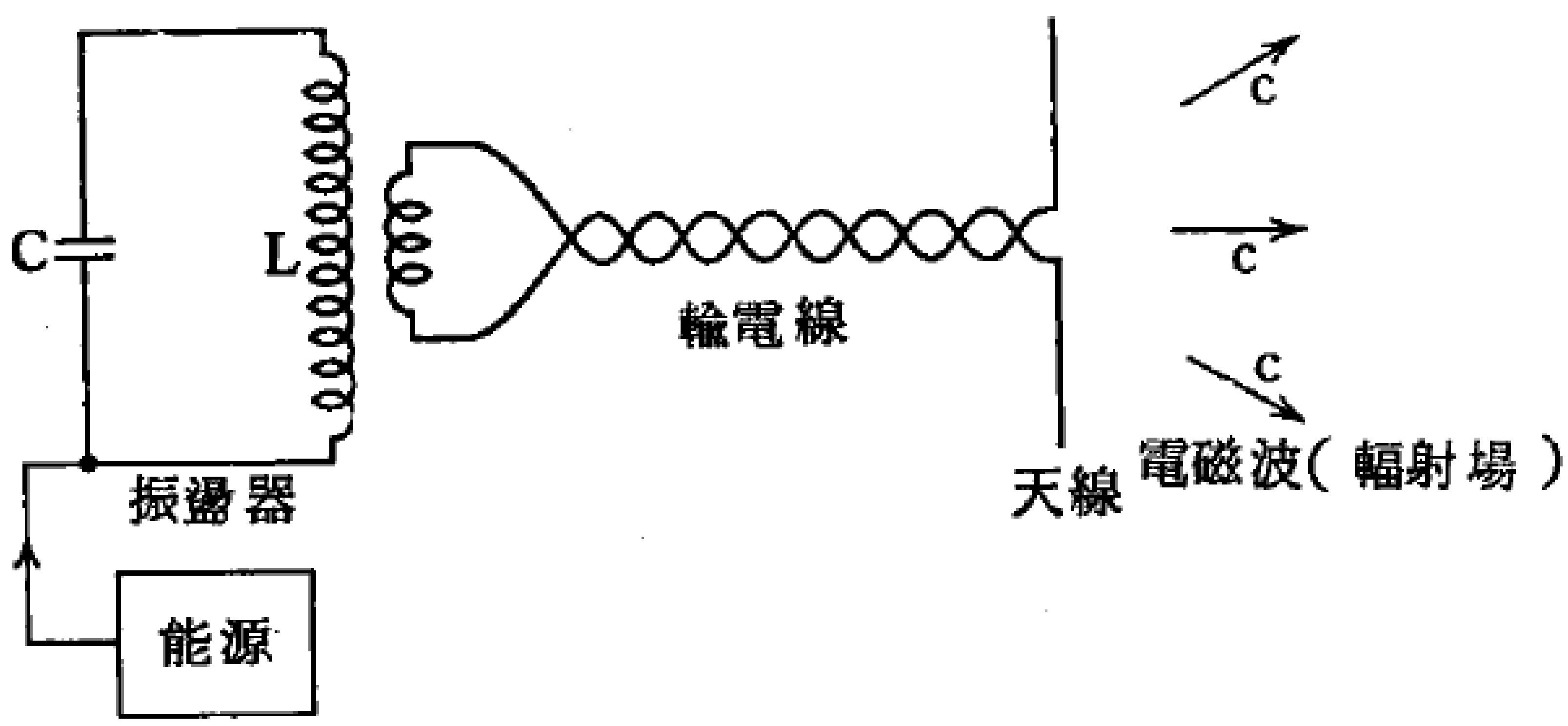


圖 13 — 396

天線中兩導體間的電位差呈正弦式改變,使電荷來回加速,其效果與一電雙極之雙極矩$\vec{p}$隨時間而變時相同。

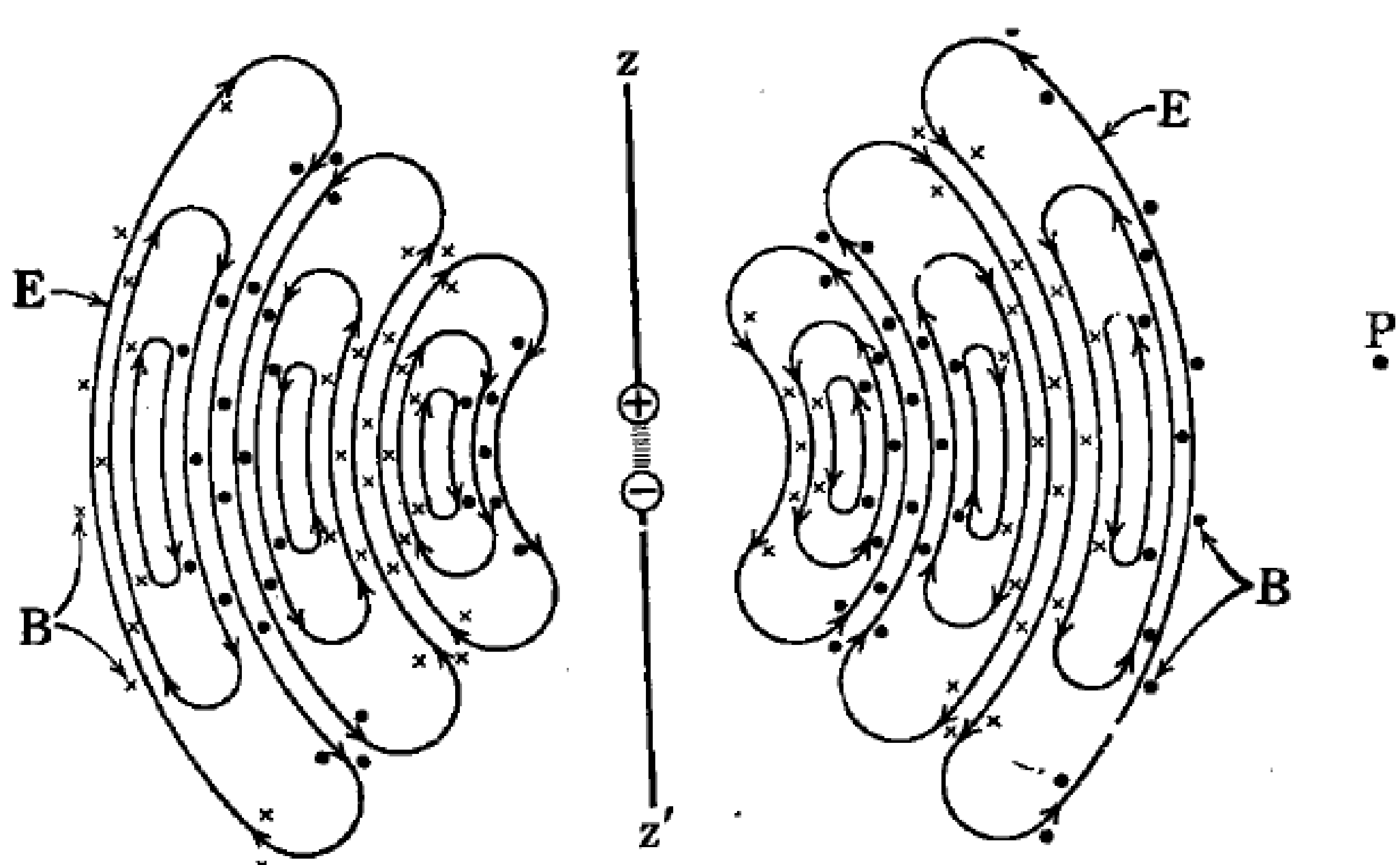


圖 13 — 397

圖 13—397 陳示振盪電雙極所生的電磁波,此圖爲繞雙極軸旋轉的圖形,波以速率c自雙極向各方射出,所

示之場爲輻射場，近場已予略去。

圖 13—398 陳示在不同時間對遠處觀察者（如圖 13—397 中點 P）所呈現之波前中的片斷（*patches*），各波以速率 c 直接由圖 13—398 的圖面朝外運動。此圖表一完全振盪週期，提示波掃過 P 點時，$\vec{E}$ 和 $\vec{B}$ 隨時間而週期改變的情形。

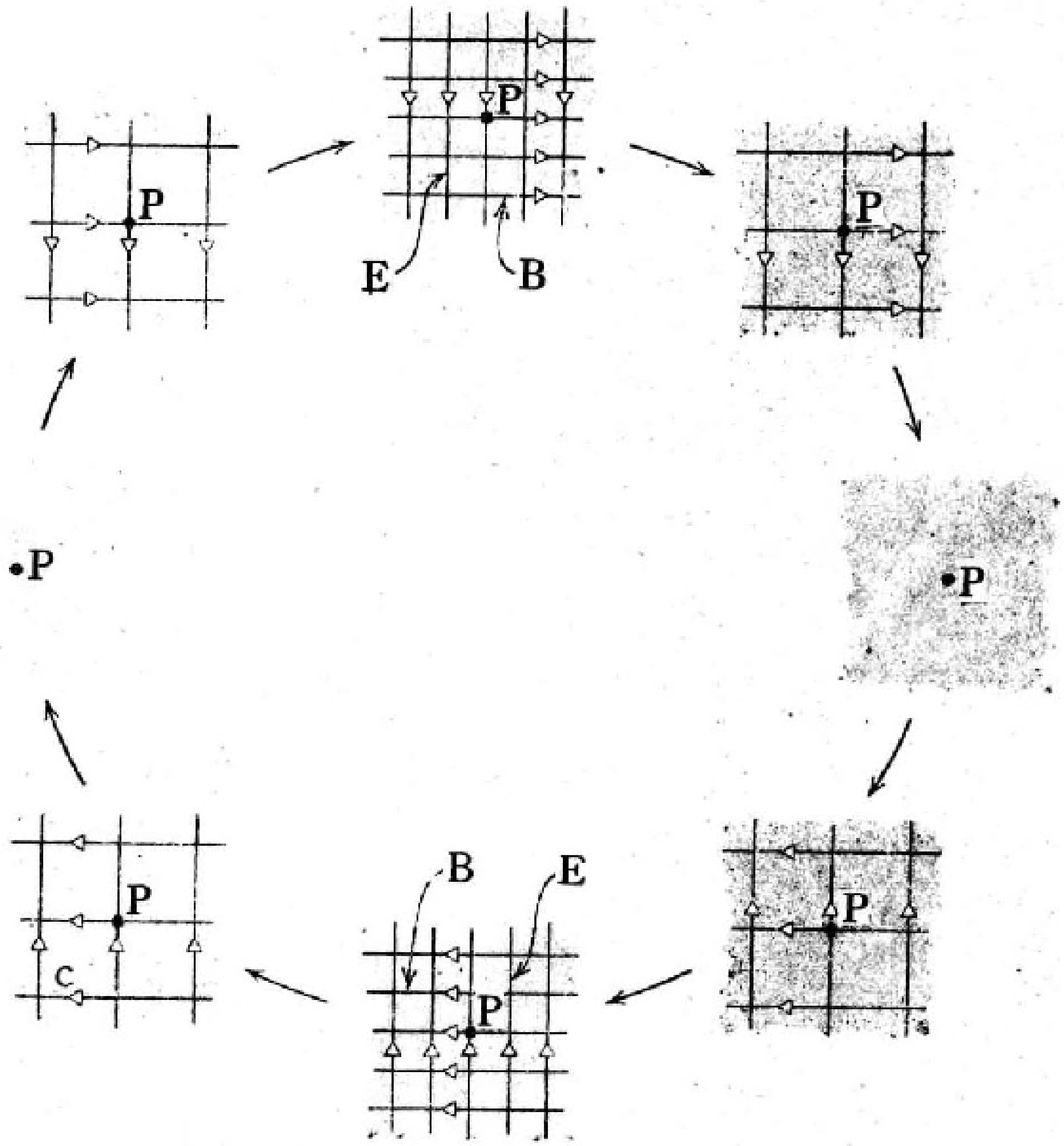


圖 13 — 398

輻射的重要特性是電場 $\vec{E}$ 垂直於磁場 $\vec{B}$；二場各與波速度 $\vec{c}$ 的方向垂直，向量 $\vec{c}$ 與 $\vec{E}\times\vec{B}$ 同向。

【電磁鐵】（Electromagnet）

電磁鐵爲具有軟鐵芯的螺線管，由於電流通過而形成的磁鐵。在通電線圈中插入一軟鐵棒，軟鐵棒因磁感應而被磁化，磁力線加密，故使磁場大大增強。



圖 13 — 399

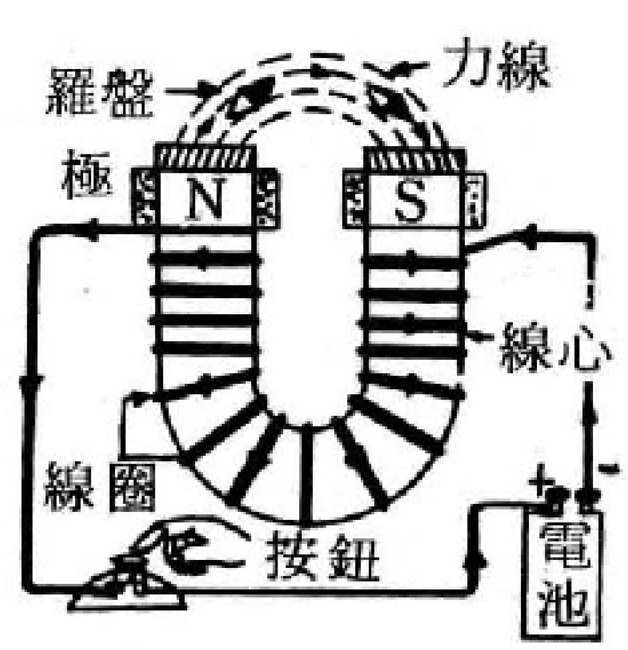


圖 13 — 400

由鐵之磁化現象，知電磁鐵之強度與鐵芯之橫截面積成正比，並隨螺線管之安培匝數及鐵之導磁係數而定。電磁的電力依電流的多寡及線圈纏繞的匝數爲轉移，此則常謂安培匝數。換言之，3安培電流流過10匝線圈則發生 30 安培匝數的價值。

電磁鐵的特點如下：

1. 可藉強電流產生強磁場，以吸引鐵質重物是爲起重磁鐵（*lifting magnet*）。

2. 可由甚強之磁場得大量的磁通量，而用以發電。

3. 電磁鐵之極強，或所生之磁場，可隨電流強度之變化而隨意改變其大小及方向。

4. 因電流之通、斷，可使磁鐵所生的磁場隨時生、滅，應用便利。

電磁鐵與永久磁鐵之比較如右表所示：

電磁鐵與永久磁鐵不同的地方

電　磁　鐵	永　久　磁　鐵
可以在必要時才作成磁鐵。	不能簡單地消除其磁性。
可以自由改變磁力的大小。	磁力大小依磁鐵各有一定的值。
改變電流方向，或線圈纏繞方向，可改變磁極的方向。	磁極爲固定，不能改變。
可以作成很強的磁鐵。	要增強磁力有一定的限度。

電磁鐵的用途非常廣泛，以其裝置說明如下：

(1)吸引式（*portative electromagnet*）—— 起重磁鐵即屬此類。爲利用電磁鐵來搬運如鐵等能被磁鐵所吸的金屬之機械。把鐵堆用強力電磁鐵吸住，運到目的地後，切斷電流，釋放鐵堆的一種器械。

(2)曳引式（*tractive electromagnet*）

①斷續器（*interrupter*）——在鐵芯磁化與導線內電流共同作用下，由彈簧片的振擺，電流與鐵

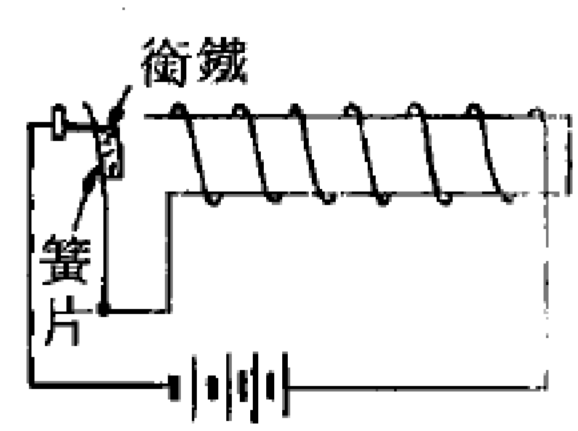


圖 13 — 401

芯的磁性卽時斷時續（圖 13—401）。電鈴、蜂音器、感應圈皆由此爲主要部分。通常多裝用蹄形電磁鐵以增磁力。斷續器擺動之頻率視彈簧片之性質與銜鐵之質量而定，每秒可達數百次之多。

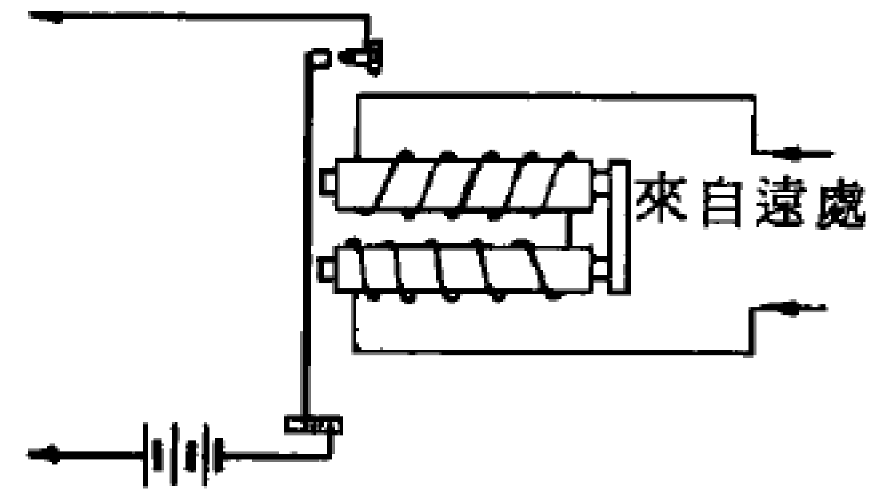


圖 13 — 402

②替續器（*relay*）——螺線管由數千匝細線繞成，遠方傳來的電流雖小，仍可吸引其銜鐵（圖 13—402）。

【電熱式火箭引擎】（Electrothermal rocket engine）

這一類型引擎無燃燒作用，但與化學推進劑引擎相類似。其原理是將已氣化的推進劑加熱至高溫，而後經噴嘴膨脹後噴出而產生推力，因用電能加熱所得的氣體溫度高於經由燃燒而得之高溫氣體的溫度，故用此法產生的噴氣速度高於化學推進劑引擎的噴氣速度。但是溫度再高時，可使氣體分子分解而吸收熱能，故此法所得之噴氣速度仍有一極限，此型發展最有希望的是電弧加熱式引擎，其簡單結構如圖 13—403 所示，現在設計的此種引擎之效力可達百分之四十，其推進劑用液體氫，當其經過用電流產生的電弧時，氫可被熱至幾千度，再經噴嘴噴出，噴出速度因不能超過某一極限，故此類型之引擎將不能用於星際飛行，但很合於較短距離的飛行任務及太空船之方向控制等。

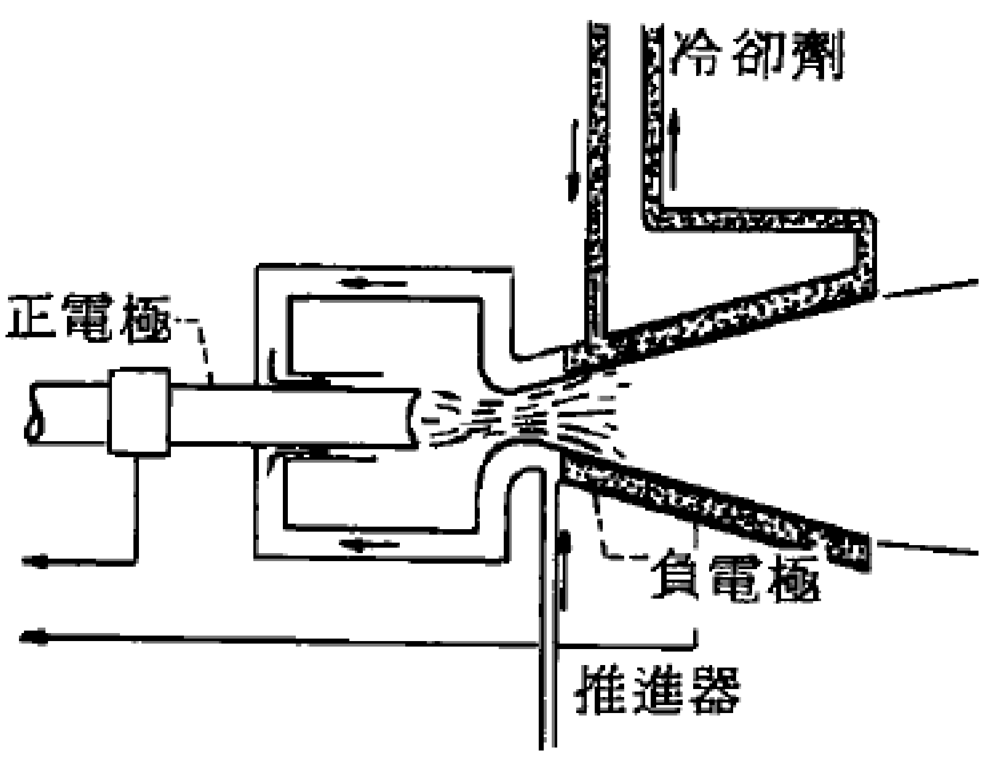


圖 13 — 403
電熱式火箭引擎工作原理

【電熱效應】（Electro caloric effect）

介電質的熱力學坐標爲 E，P' 和 T，而它的狀態方程式也就是這三個變數之間的關係。如果溫度不太低的話，我們有一個典型的狀態方程

式

$$\frac{P'}{V}=\left(a+\frac{b}{T}\right)E$$

介電質的熱力學方程式可以從化學系統對應得到，只要將P改成E，以及V改成P'。因此，TdS方程式為

$$TdS=C_E\,dT+T\left(\frac{\partial P'}{\partial T}\right)_E dE$$

這個方程式可以應用到(1)電場的可逆等溫改變(2)電場的可逆絕熱改變。第二個過程所引起的溫度改變叫做電熱效應。

【電熱器】(Electric heater)

利用電流之熱效應，使裝有高電阻導線，通電後產生大量熱的器具。如電冶爐、電烘爐、電熨斗、電暖器、烤麵包器、電鍋、電毛毯、電烙鐵等。

電熱器由發熱體及防止短路之絕緣體兩部分構成。發熱體所用之材料必須具備融點高、不易因高溫氧化、電阻大、易加工成線條或板狀等條件。通常多使用鐵、鎳鉻線或鎳鉻線等。絕緣體則多半使用雲母、陶瓷等。

【電熨斗】(Electric flat-iron)

電熨斗（圖 13—404 ）外面是一個金屬殼，裏面是數層雲母片，片上繞以鎳鉻線等，彼此絕緣；並用雲母片使裏外絕緣。使用時連接電源，電流所生的熱，先使裏面灼熱，再傳到外面以供應用。

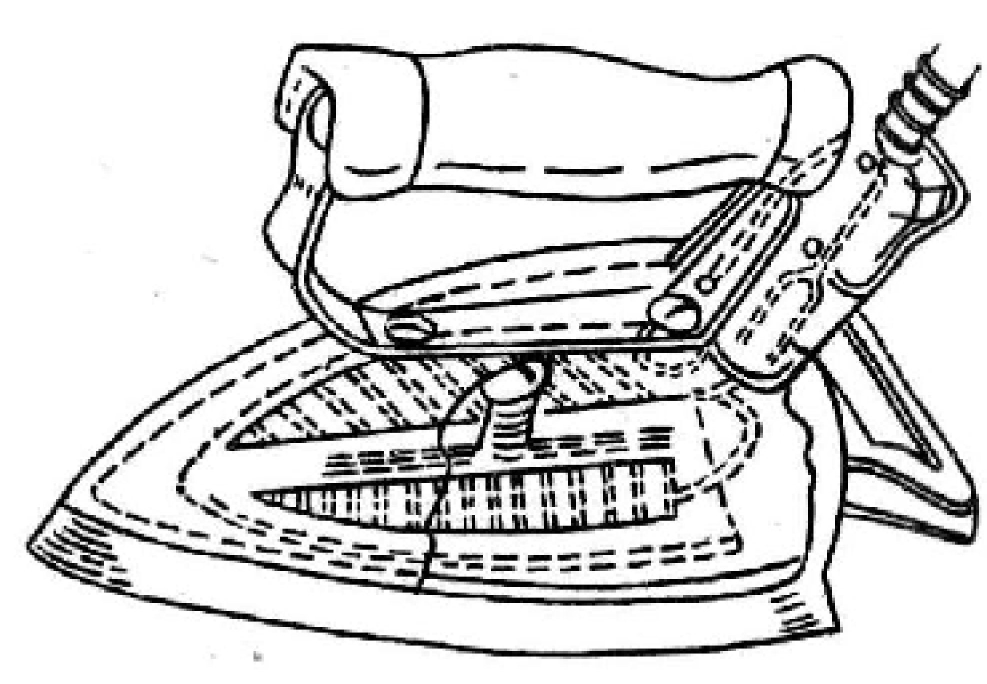


圖 13 — 404 電熨斗

【電銲槍】(Solder gun)

大電流低電壓的銲鐵器。

【電橋】(Bridge)

是用來測量電阻、電容和電感的儀器。最簡單的電橋電路有如下所

述：橋臂上接入阻抗（電阻或電抗），其中三個已知阻抗Z_1,Z_2和Z_3，欲測量的未知阻抗Z_x 接於第四臂上。在電橋的一條對角線上接入電源，而在另一對角線上接入檢流表（或其他靈敏的電流指示器）。測量電阻時，電橋通常採用直流電源（原電池或不大的蓄電池），測量電抗時，則用適當頻率的交流電流。在四個臂上的阻抗之間構成某個比例時，接有檢流表或別種電流指示器的電橋對角線內便應當沒有電流（電橋平衡）。如果選擇某一已知阻抗的數值，使得檢流表的讀數為零，這時在四個阻抗之間便存在著如下的關係：

$$Z_x : Z_3 = Z_2 : Z_1$$

因而可得 $Z_x = \dfrac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_1}$ 。

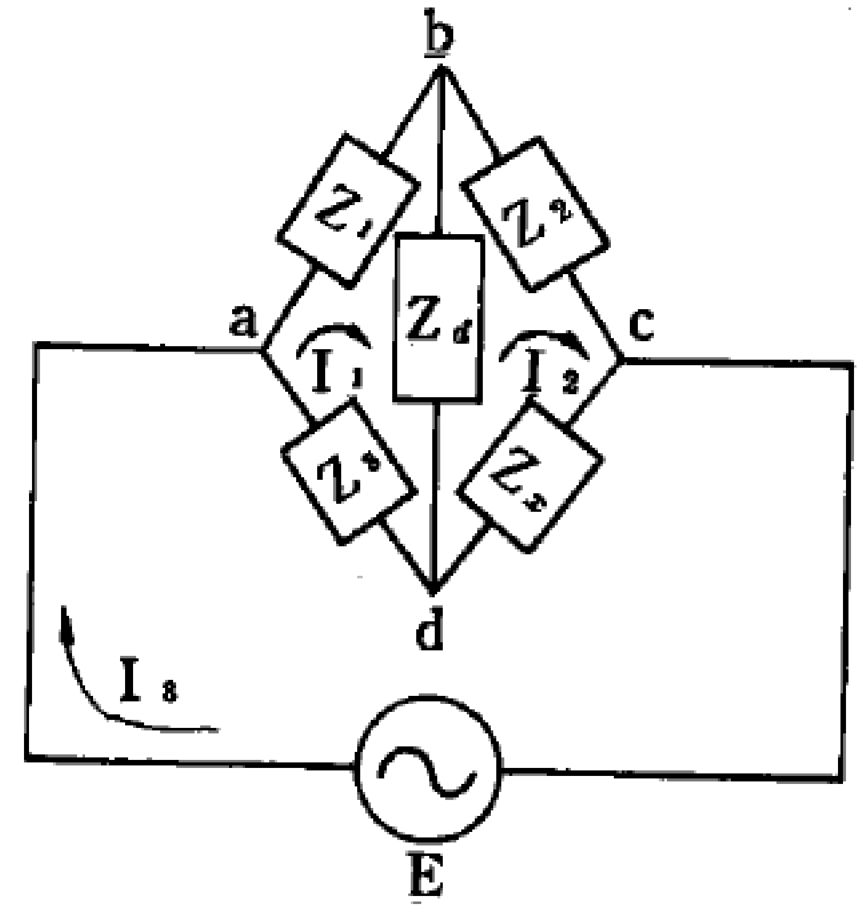


圖 13 — 405

【電燈】（Electric light）

電燈是利用電流的熱效應，以得強光的裝置。電燈泡係一眞空或通入氬氣的玻璃球，封入碳絲或鎢絲而成。球內有一玻璃棒，棒中熔入金屬絲兩支，下端用以繫燈絲。上端則通到頂端，各附以錫片，以便接於電路內。但錫片周圍用火漆封密，使其絕緣。電燈中有電流通過時，因為發生大量的熱，可使燈絲白熾而發出光來，故又名白熾燈。

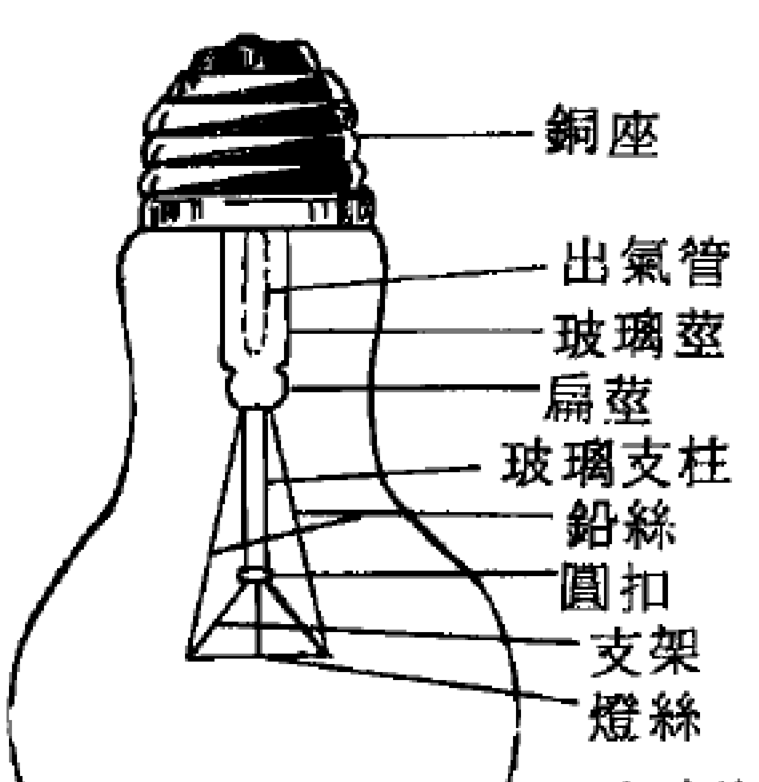


圖 13 — 406　鎢絲電燈泡

1879 年美國愛廸生首先發明電燈，他將碳絲封入眞空的玻璃燈泡中而成，所以又稱碳絲燈。碳絲光度不強，耗電多又易揮發損壞。1911 年柯立芝（*Coolidge*）改成鎢絲燈（*tungsten lamp*），如圖 13— 406

。因鎢之電阻率極大，熔點高達 3,370°C，其發光效率可增至每燭光光度所耗之功率約 1.25 瓦特，壽命則爲 1,000～2,000 小時。

近又於鎢絲燈內封入惰性氣體（*inert gas*），如氮、氬等。而成爲充氣體（*gasfilled lamp*）以減少揮發。又將燈絲曲爲細小的螺旋狀，以減少熱之輻射。電阻絲每一圈都隔開著，電流不會發生短路，一方面能使熱量集中，燈絲維持較高的溫度；另一方面也加大了燈絲的發光面積，這樣電燈就更加明亮了。此種燈泡每燭光所耗功率僅 0.6瓦特。

自燈絲接至泡外之導線（今爲鐵絲合金）先經一玻柄，爲免因熱生隙，故與玻璃之膨脹係數相同。假如氧氣接觸熱鎢絲，鎢絲將燒成灰燼，故將燈絲封閉於玻璃泡內，與空氣裏的氧隔絕。燈泡所需電壓，各有一定，均記於燈泡上；安裝電燈通常皆用並聯法，免爲一燈開閉影響其他。

計算電燈等所耗電能的單位，叫做仟瓦小時，俗稱電度。係 1,000 瓦特的電功率，在 1 小時內所供給的電能。記錄電度的機械，叫做瓦特小時計，通稱電表。

【電導】（Conductance）

物質在直流電路中傳導電流的能力，稱爲電導。不同物質的導電能力稱爲不同物質的電導率（*conductivity*），用代號G字代表。電導在數值上由電阻的倒數來決定，即

$$G=\frac{1}{R} \qquad \text{即} GR = 1$$

電導的單位爲姆歐（*mho*），用代號℧表示。電導率的數值決定於物質的性能與溫度。電導率愈大的物質導電能力愈強。電導率的大、中、小，代表物質之爲良導體、半導體或爲絕緣體。

電路中電流和電壓的關係（歐姆定律）可以利用電導而表示爲GE

$= I$ 。

在交流電路中，物質的電導率，在電容性電路中爲電容抗X_C的倒數。在電感性電路中爲電感抗X_L之倒數。即：

$$G_C = \frac{1}{X_C} = 2\pi f C \qquad G_L = \frac{1}{2\pi f L}$$

爲資區別，我國工程界把G_C及G_L譯成電納，並把電阻、電容與電感混合電路中的電導率譯稱導納。

在計算並聯電路時，利用導納是很方便的，因爲全部電路的導納等於各單獨並聯電路導納的總和（在並聯連接時，將各個阻抗的倒數相加在一起）。

【電導率】（Conductivity）

又叫電導係數（*specific conductance*）。

導線電阻之關係式代入電流與電壓的關係式後可得

$$\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho}\frac{V}{L}$$

因爲導線內的電流密度爲$J = \frac{I}{A}$，導線內的平均電場爲$E = \frac{V}{L}$，故上式亦可被寫成

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

上式中$\sigma = \frac{1}{\rho}$，這一比例常數σ亦爲物質的一種性質，我們叫它爲該物質的電導率。上式的關係也常被稱爲歐姆定律，它表示物質內某一點的電流密度與該處的電場間的關係。當導體是無向性（*isotropic*）的均勻物質時，$\vec{E}$與$\vec{J}$的方向相同，這時σ爲一純量。若物質具有方向性，如石英、石墨晶體等，$\vec{J}$的方向與$\vec{E}$的方向可以不同，這時σ爲一張量。導電率的實用單位爲（歐姆厘米）$^{-1}$〔（$ohm \cdot cm$）$^{-1}$〕。

【電導體】（Electric conductor）

凡是最高塡充能帶尙未完全充滿電子之固體，就是良好的電導體（圖13 — 407），所以金屬導電性極佳，銅在室溫時，電的傳導性較石英的傳導性大 10^{20} 倍。如鈉原子（ $Z = 11$ ）中的 $1s$，$2s$ 及 $2p$ 原子能階，係完全充滿電子的能帶，因在其各別的原子殼層中業已充滿電子。由於在每一原子中的 $3s$ 能階內最高可以容納兩個電子，而在每一鈉原子中的 $3s$ 能階內僅有一個電子，所以 $3s$ 能帶僅塡充一半。在一外加電場的作用下，價能帶內的最高電子，在不違反不相容原理條件下可能偶然獲得少量額外的能量，而到達能帶內任何鄰近的空態。此與紊亂的熱激發之最大區別，就是電子受電場的激發作用時可獲得動量，其方向與電場的方向相反；於是形成一集合的運動穿越晶體而構成電流。所以爲一良好的電導體，並且應爲一良好的熱導體，蓋因導電與導熱兩者都是由於尙未充滿的最高能帶中的電子之行爲所引起。

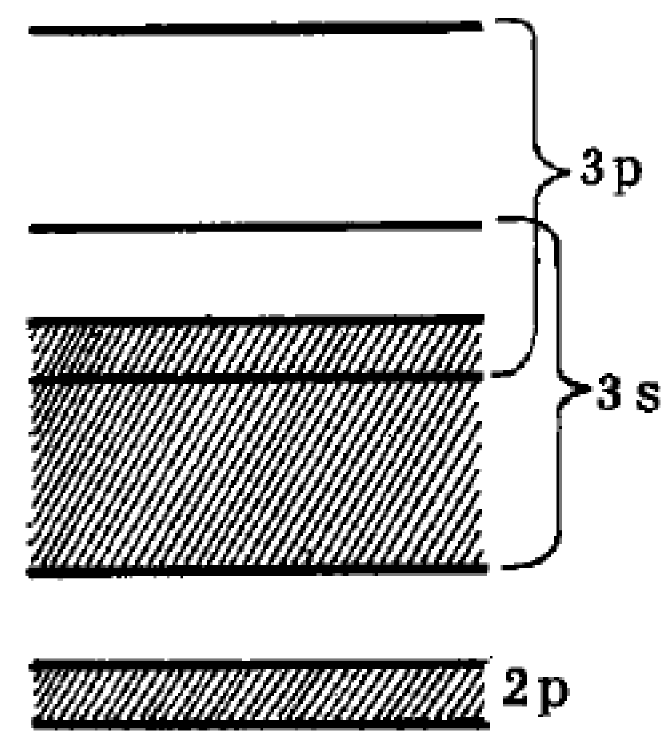


圖 13 — 407
在電導體中能帶的重疊

【電噴射】（ Electrojet ）

寬度受制而集中之電流，常見於兩磁極上空，係由強烈之電流面所產生，並以極光之界限爲界限。

地球於晨間向西部分，電噴射之強度較大，在黃昏時地球向東一面較弱。在兩面積交界處無電流存在。

【電諧振】（ Electric resonance ）

振盪電路向周圍的空間發射出一定頻率的電磁波，如果在遠處的接收器的振盪電路，它的頻率和空間來的電磁波的頻率相同時，就在這個電磁波的作用下，在振盪電路中產生最大的振盪電流。這種現象就叫做電諧振。

【電療】（ Faradism ）

藉高頻電流、射線或振動治病。

【電鍍】(Electroplating)

利用電解作用，在物件之外表鍍以金屬以防止生銹而增美觀的步驟。如圖 13 — 408，電鍍時以被鍍之物件作陰極，欲鍍之金屬作陽極，並以欲鍍金屬之鹽或酸溶液爲電解質，通以電流，則溶液分解，金屬附著於物體表面，陽極之金屬，次第溶解，以保持溶液之濃度一定。用此法鍍各種金屬於物體上均可，金、銀、鎳、鉻等金屬，不易生銹，光澤又好，所以常用來電鍍。電鍍時析出的金屬皆爲結晶體，此晶體愈細愈均勻最爲重要。因此，以下幾點爲關係電鍍狀態的事項。

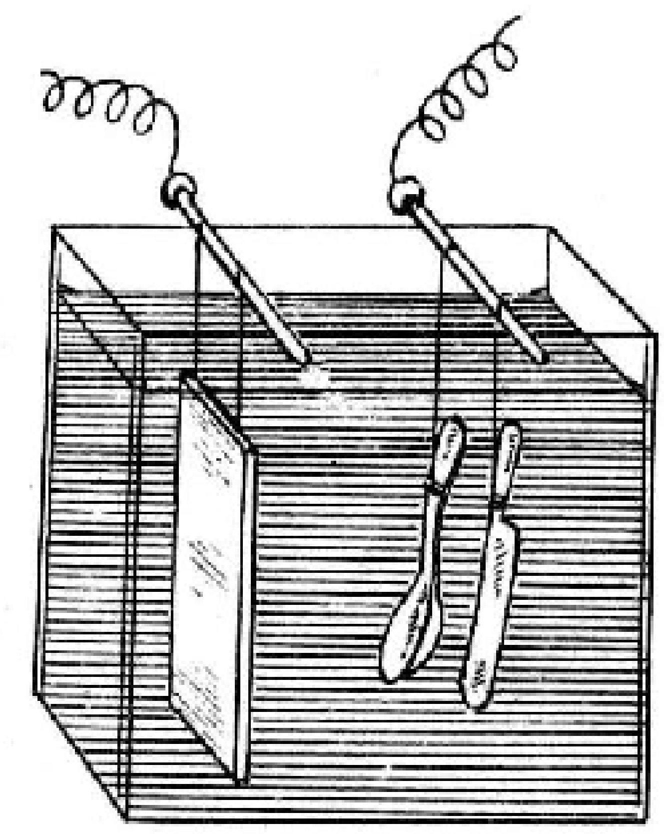


圖 13 — 408　電鍍

1. 金屬離子濃度——電鍍液中的金屬離子濃度愈低愈佳。而液中的金屬鹽濃度則以大爲宜。爲此，應使用會製造錯鹽者或增加共同離子者。

2. 添加劑——添加少量的明膠或卵白等膠狀物質。此等物質與金屬共同被陰極吸收，可使被電鍍的金屬結晶變小。

3. 電流密度——密度小時結晶核的生成較遲，故結晶的成長甚佳，可得均一的電鍍。電流密度過大時結晶核多，各部分的離子濃度不均勻，以致發生樹脂狀海綿狀等。

4. 攪拌——電鍍液要均勻才能獲得平滑的電鍍。

5. 溫度——太高時結晶生長雖太快，但電鍍液之濃度也增高，電氣密度也增大，因而亦可減少含氫的現象，此爲良好之影響。

6. 酸鹼度（ pH ）——賤金屬酸性強時會產生氫，以致妨礙電鍍。

7. 研磨——金屬之銼痕、生銹或油污等應弄平滑乾淨，再行電鍍

。為此，可用機械性的布沙輪等磨亮，更以汽油洗滌或用鹼來脫脂等。

【電鍵】（Key）

是一種多作用的開關，具有一組或多組互相絕緣的金屬簧片；通過機械作用，可以推動簧片，使簧片上的接點，有的分開，有的閉合，以便同時管理幾個電路的開合。在人工交換機上，用以送出振鈴電流，控制信號燈的明滅，開合講話電路等。電鍵式樣很多，一般可分為“手扳式電鍵”及“按鈕式電鍵”兩種。

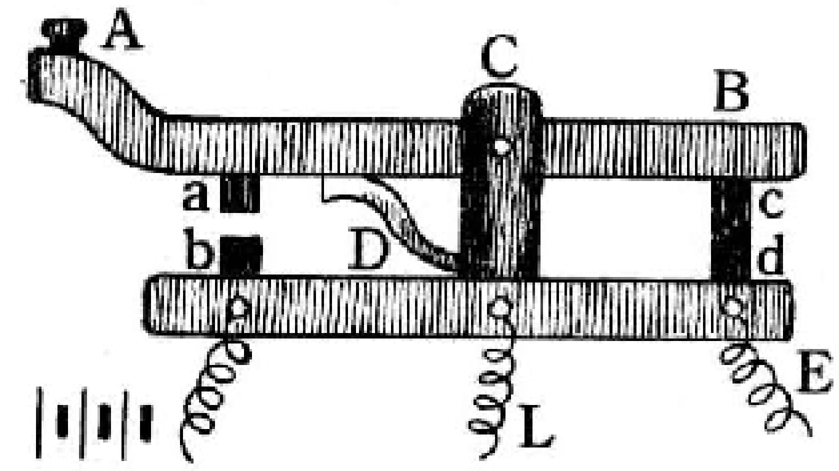


圖 13 — 409

電鍵構造如圖 13 — 409，以金屬柱 C 固定於木臺上，AB 為一槓桿，而以此金屬柱 C 為支點，A 為鈕，其下有螺旋彈條 D，恆推之使向上，B 端之下，有一短金屬柱 c，臺上有一短金屬柱 d，與之相對，當未發信時，彈條 D 推 A 端使向上，則 c 與 d 相接，由是與本局之受信器及電線相連結，即支柱 C 與導線 L 相連，以通於他局，短柱 d 由導線 E 以與本局之受信器相連，此時可受從他局所來之報，又 A 之 F 及臺上，亦有相對之二短柱 ab， 短柱 b 與本局之電池之陽極相連，發信時捺 A 鈕，則 ab 相接，而 cd 離開，電池之電流從 b 經 a 而移於槓桿，再由支柱 C 及導線 L，經電線流入他局之受信器，若捺 A 鈕之時間長短不同，則電路開閉之時間長短亦不同，故他局之受信器感應，而所畫之符號亦有長短，由是可傳遞音信。

【電壓】（Voltage）

電位差的量度。電壓是單位電荷由空間（或電路上）某點移至另一點所需之功。乾電池接到小燈泡，小燈泡即發亮。這是由於乾電池有驅使電流流動之作用的緣故。通常，兩點（例如乾電池的陽極與陰極）之間，

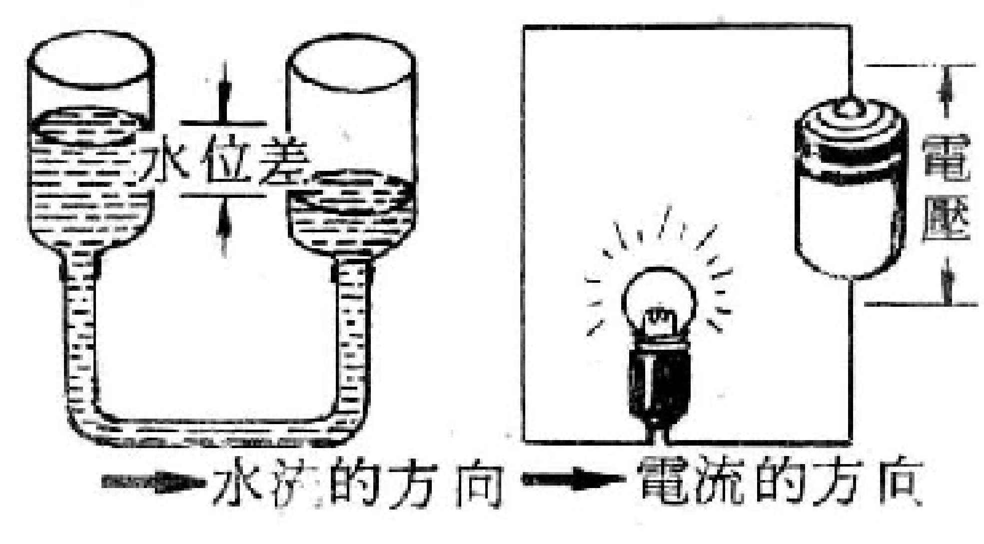


圖 13 — 410　水位差與電壓的比較

電流流動的作用之大小叫電壓，其作用愈大者，叫電壓高，作用小的叫電壓低。

現在試將電流與水流作一比較。把盛有水的兩個水槽，如圖13—410所示用水管連接起來。如水槽中的水位有差異，水即受水壓而由水位高的那一邊流向低的那一邊。

電也有相當於水位的名詞叫電位。在導體中，電流是由電位高的地方向低的地方流。因此要使電流流動，在兩點之間須有電位高低之差別，這叫電位差，或比照水的水壓叫電壓。

電壓的大小（E）之單位用伏特，記號用V表示。例如1.5伏特寫爲1.5V。另有以靜伏爲單位，1靜伏＝300伏特。

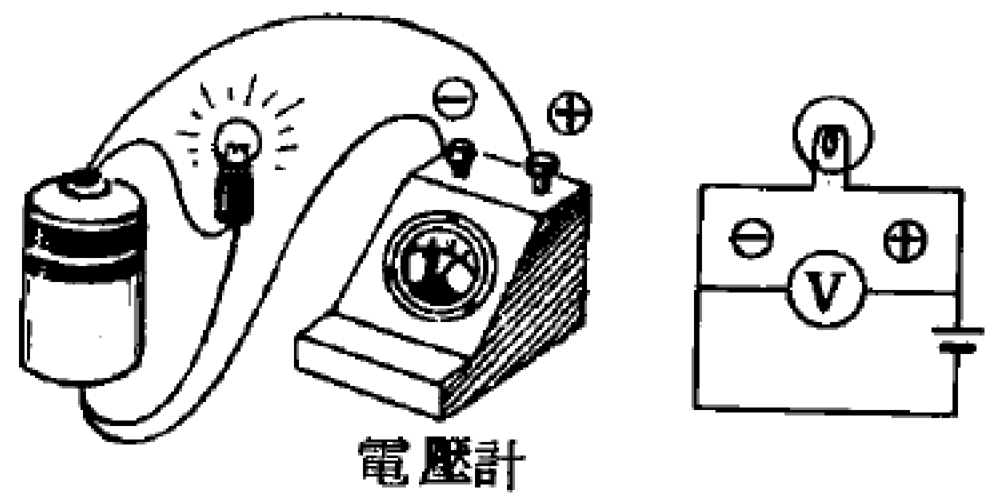


圖 13 — 411　加在小燈泡的電壓的量法

要測量電壓的大小，須用電壓計。電壓計應接在所要測量電壓的兩點之間，與電路並聯連接，把電流（直流）的＋（－）兩端，用導線接在接近電池的陽（陰）極端子，即可讀取指針所指電壓數值。

【電壓二倍器】（Voltage multiplier）

二極管整流器不但可將交流變爲直流，並且可使其輸出的直流電壓，爲交流輸入電振幅峯值的二倍，甚至於數倍，如此將電壓增大，就可省去一般整流器所必需的升壓功率變壓器。特別是對於需要較高的交電壓，可用電壓多倍電路（*voltage-multiplying circuit*）代替非常貴的升壓功率變壓器，如電視機及無線電接收機，可直接在交流電源就能發生作用。

圖13—412，全波二倍器（*full-wave voltage doubler*）所得的輸出直流電壓，爲交流輸入電壓振幅峯值的二倍。此電路是由兩個半波整流器所合成（即二極管1及二極管2所合成）。此合成電路也是一

個全波整流器，因爲當每一交流電壓的半週波輸入時，流經各二極管的電流都通過負載電阻 R_1 或 R_2 。

全波二倍器的作用原理如下：在輸入交流電壓輸入的正半週波時，如果功率變壓器二次線圈 A 點的電壓爲正，流經二極管 1 的電流則如圖 13—412 實線箭頭所指方向，電容器 C_1 充電，因此電容器 C_1 的上端帶正電荷。（此電路內可不另加變壓器，而直接接在交流電源上）。電流由電容器 C_1 上端流入（電子由上端離去，而使其上端的電子數少於下端），因此上端帶正電荷。由於電流由電容器 C_1 的下端流出（大量電子由二極管 1 的屏極流向電容器 C_1 的下端），所以下端帶負電荷。電容器一經充電，就達到所加電壓的峯值，因此電容器 C_1 充電後的電壓必等於變壓器二次線圈的峯值端電壓。關於此電路的電壓波形可看圖13—412。在此交流輸入電壓的正半週波時，二極管 1 所通過之電流只是一個電流脈衝而已。

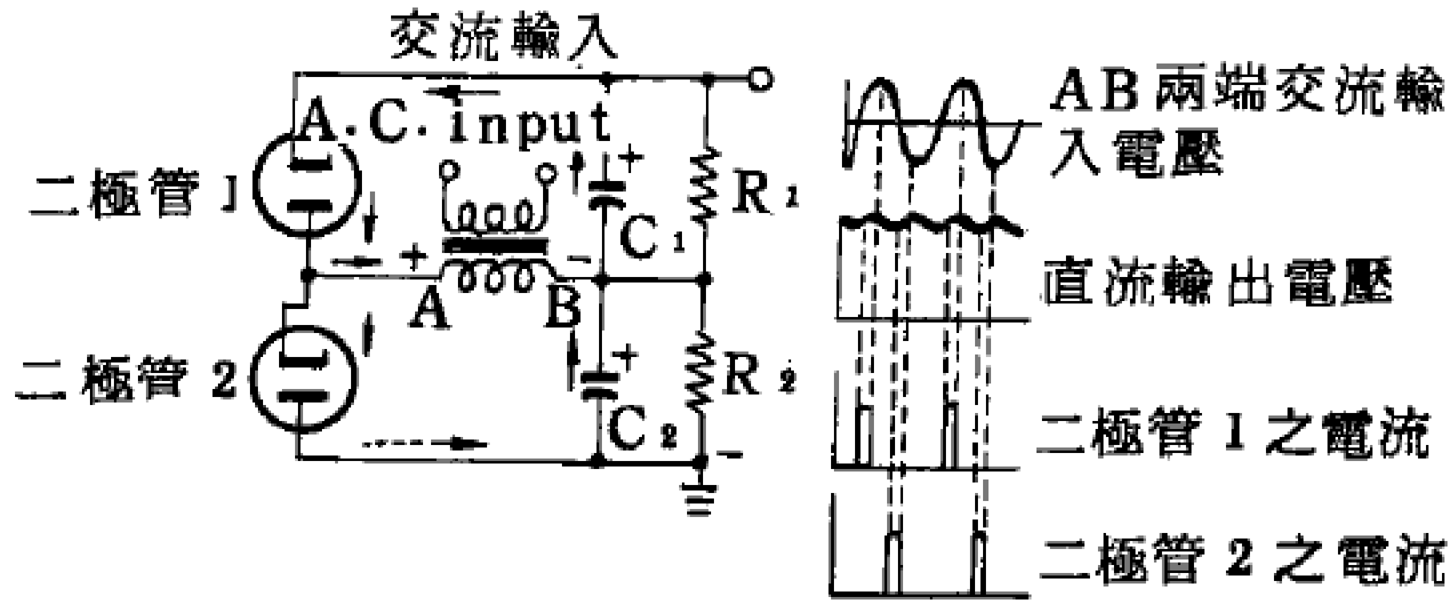


圖 13 — 412 全波電壓倍增電路及波形

在交流輸入電壓的第二個半週波時，變壓器二次線圈 B 點的電壓爲正，A 點電壓爲負，所以二極管 1 不能導電。雖然二極管 1 不導電，但電容器 C_1 所帶的電荷約保持爲原有的數量，只有非常小量的電荷經電阻 R_1 漏掉，這可由圖 13—412 中所示直流輸出電壓，由最高點下降的波形了解。

由於在第二半週波時，變壓器二次線圈 A 點的電壓爲負（對 B 點而言），所以二極管 2 的陰極電壓也是負電壓（對其屏極而言）。因此有一電流流經二極管 2，其方向就是圖中虛線箭頭所指的方向。電容器 C_2

由此電流充電後，使其上端得正電荷，充電後的電壓爲交流輸入電壓的峯值，充電時的脈衝電流已繪於圖13—412中。同時，在第三半週波（正半週波）時，二極管2不導電，但在此段不導電的時間內，電容器C_2的電荷幾乎維持恆定，也只有少量電荷經電阻（R_2）流，這也可由圖13—412所繪直流輸出電壓波形的下降部分了解。

由於電容器（C_1及C_2），電阻（R_1及R_2）都是串接的，電容器及電阻的總端電壓，是各電容器端電壓的和。由於電容器的端電壓等於交流輸入電壓峯值電壓，所以總直流輸出電壓，必爲交流輸入峯值電壓的二倍（變壓器二次線圈端電壓的二倍）。當無直流負載電流流出時，此直流電壓保持不變，但一加上直流負載而有直流輸出時，電容器就開始放電，但所放電量很小，所以使二極管的輸出直流電壓下降。如將電容器的值增大（大於10微法拉），就能容許相當大的負載電流輸出，並且直流電壓的下降也不會很嚴重。電壓三倍器（*voltage tripler*）及四倍器（*guadrupler*）的基本原理都與二倍器相同。

【電壓的單位】（Unit of voltage）

電壓的單位有：

1. 伏特（*volt*）

$$1\text{伏特}=\frac{1\text{庫倫}}{1\text{法拉}}=\frac{1\text{焦耳}}{1\text{庫倫}}=(1\text{安培})\times(1\text{歐姆})$$

2. 靜伏（*statvolt*）

1靜伏＝300伏特。

1國際伏特（*international or legal volt*）$=\frac{1}{1.0183}$衞司吞電池（*Westen's cell*）之電動勢。

【電壓反饋】（Voltage feedback）

在輸出電路回輸一電壓給輸入電路，與輸入電壓串聯。

【電壓反饋放大器】（Voltage feedback amplifier）

電子管放大器的輸入電路接納屏路的回輸電壓者。

【電壓有效值】(Voltage effective value)

交流電壓的有效值是最大值的70.7%，與直流電同值電壓效能一樣。

【電壓放大器】(Voltage amplifier)

電子管放大級，用以升高信號之電壓值者。放大器，是由其能將交流輸入信號放大，得一較大的交流輸出信號。如果輸出信號電壓大於輸入信號電壓，放大器則稱爲電壓放大器。輸出信號電壓，與輸入信號電壓之比，稱爲放大增益。

【電壓計】(Voltmeter)

即伏特計。

參閱"伏特計(*Voltmeter*)"條。

【電壓秤】(Voltage scale)

圖13—413所示，爲一所謂電壓秤。以導線將距離甚小且互相對立的兩塊金屬板A及K，連接於電源兩極(例如插座之接觸點)。

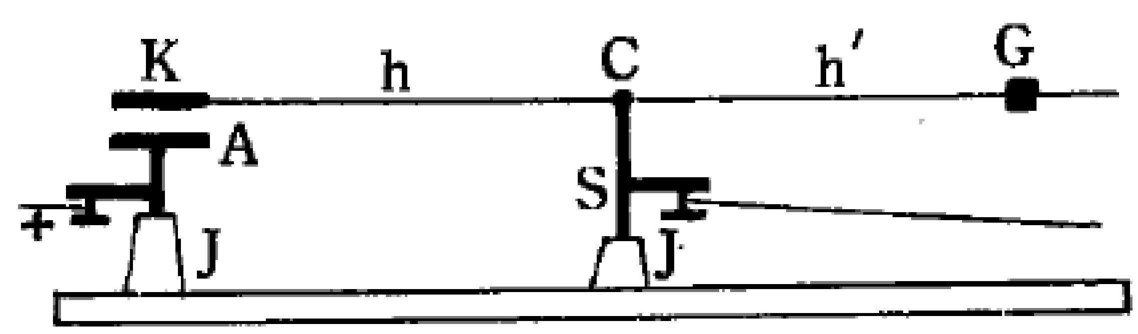


圖13—413 電壓秤

板K位於一極輕的鋁製槓桿h之末端，槓桿承架於細柱S上，且可繞C點轉動，經此柱用導線以與電源之陰極相連。與電源另一極相連、作爲電壓秤正極的金屬板A，亦和柱S一樣，各架於一不導電的琥珀柱J上，以防漏電，此種裝置謂之"絕緣"。接通電流後，則A及K將因發生電壓而互相作用，可動板K爲固定板A所吸引，電壓愈大，吸引愈強。吸引力之大小，可移動槓桿之另一臂h'上的"秤錘"而求出。於是h'之長，即爲電壓之尺度。

利用這樣的電壓秤，極易證實在二物體間因有電壓存在而生之吸引力。市內輸電網之電壓，在此電壓秤上所發生的偏重，明顯可見。在插

座的相鄰兩接觸點間自然也有這種吸引力，但因金屬部分已經固定，故不易發覺罷了。

【電壓增益】(Voltage gain)

兩級（或多級）放大器的總放大倍數是各級放大倍數的積。最末一級輸出交流電壓與第一級輸入交流電壓之比叫做放大器的電壓增益。

【電壓調節】(Voltage adjustment)

利用可變的調整工具，改變電壓值。有些電路和電源電壓的變化超過幾個伏特時，就不能正常工作，供給這些電路的電源供應器須要裝置電壓調節器電路，使線路電壓和負載電流變動時，電源供應器能維持恆值電壓輸出。

【電壓調節管】(Voltage regulation tube)

電壓調節管普遍稱爲"*VR*"管，是一種低壓充氣式二極管。包括一個屏極和一個陰極，無燈絲裝置，故這種調節管叫做冷陰極管。如圖13—414所示，罩內一點表示充有低壓氣體，如氦、氖等。

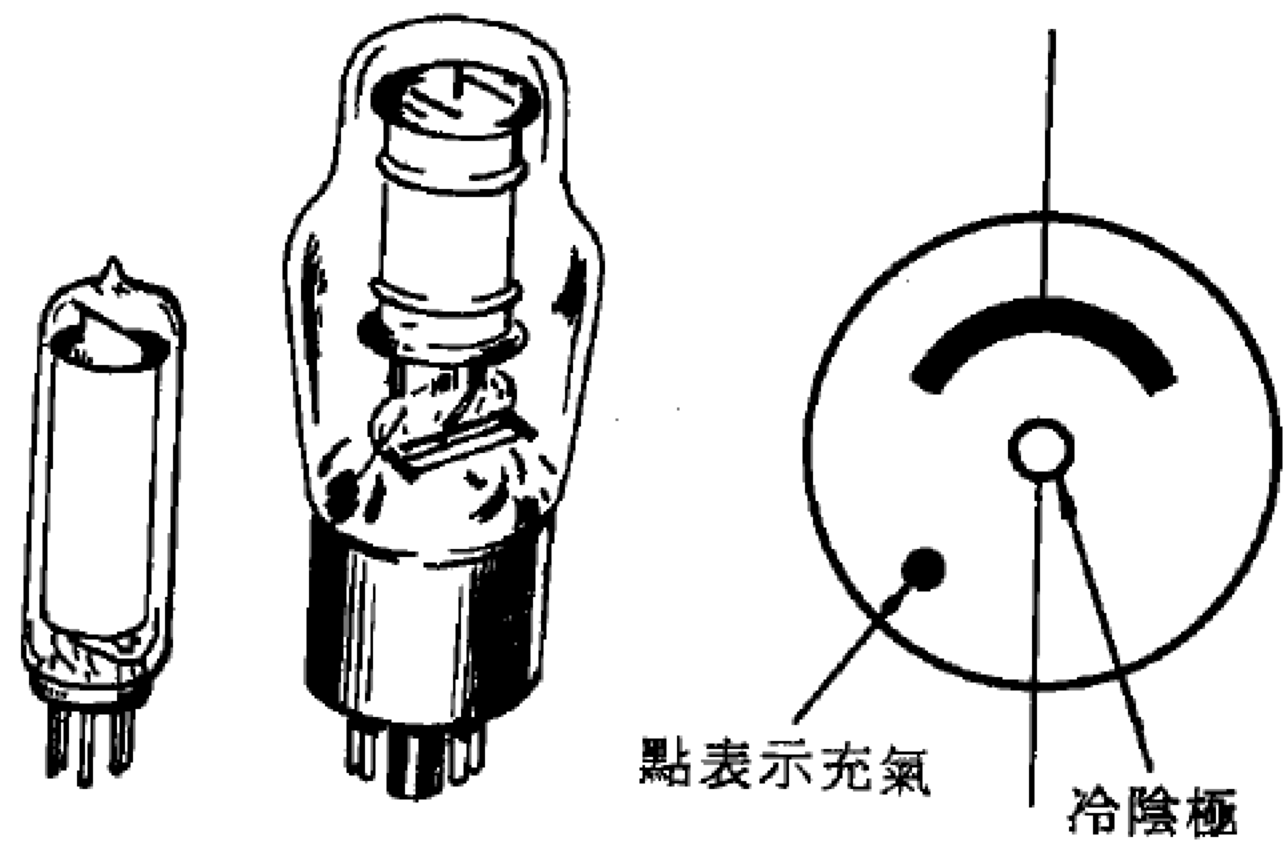


圖 13 — 414　電壓調節管

所有電壓調節器電路的基本部分是電壓調節管，當這些管工作時，其電流雖有變動，但仍能保持一定值直流電壓。"*VR*"管的結構使它能保持50、75、90、108和153等伏特直流電壓，應用它們各種不同的組合，得到任一數值的恆壓。

【電壓調節器】(Voltage regulator)

一個典型的電源供應器是由一個變壓器、一個整流器和一個濾波器電路所組成，它可供給高壓直流電和低壓交流電，使各種電子電路工作

。但當電源供應器的高壓直流供應電流時，由於電源供應器有內電阻，其輸出電壓必降。當流出的電流由 0.05 安培增加到 0.100 安培時，350伏特直流輸出電壓很可能降到 300 伏特。

這種電壓降對於很多電子電路影響並不嚴重，它們仍能正常工作。但是，有些電子電路如果電壓降超過二或三伏特時，就不能工作，因此，這些電路的電源供應器便須有一個電壓調節器電路。當電源備有電壓調節器電路時，僅將那些需要恆壓的電路接到調節器上，其他的電路可直接接到未被調節的高壓直流電上。

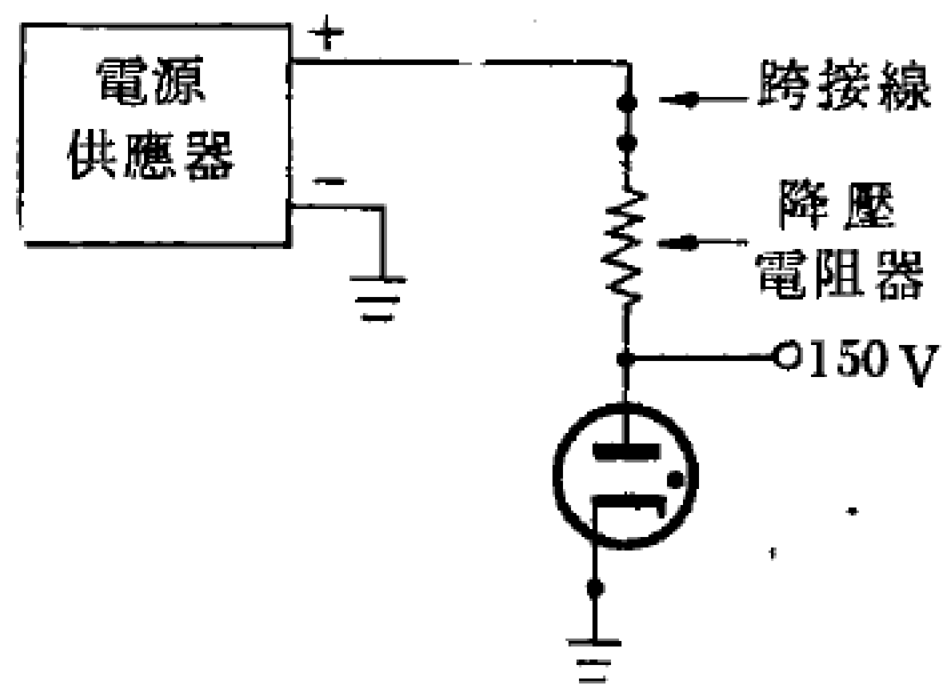


圖 13 — 415

最簡單而常用的電壓調節器電路由一個降壓電阻器和一個調節管串聯，跨接在電源供應器輸出和地之間（圖 13 — 415）。調節的電壓由調節管的屏極上接出。負載電流和調節管電流均流經降壓電阻器，調節管電流隨負載電流而自行調節，使流經降壓電阻器上的電流不變。

當在陰極和屏極間的電壓足夠大時，管內的氣體因離化而導電，電子由陰極流向屏極，此時管內產生淺藍色光彩，導電愈大，光度愈亮。

電壓調節管的編號近年來已有變更，老式的編號例如*VR*—150/30、*VR*—90/30 和*VR*—75/30 已不再使用，在老式編號中*VR* 係代表電壓調節管，第一個數字如 150等，指示管子需要調節的工作電壓，最後一個數字指示調節管能流經而不致損壞的額定最大電流。所有調節管的最小工作電流約為 5 毫安，如電流低於此數值時，管子就停止導電。至於調節電壓的範圍可用一個電壓調節管或數個串聯組合來完成。

參閱“電壓調節器（*Voltage regulator*）”條。

【電壓穩定性】（Voltage stability）

電壓穩定性用電壓調節率（*voltage regulation*）或電流變動率

(*current variation*)的百分數表示之。而以百分數愈低爲愈佳。其方程式如下：

$$電壓調節率=\frac{E_1-E_2}{E_2}\times 100$$

$$電流變動率=\frac{I_1-I_2}{I_2}\times 100$$

式中 E_1 爲無負載時的電壓，E_2 爲最大負載時的電壓。I_1 爲最大負載電流，I_2 爲最小負載電流。

假定一整流器經濾波器後的分壓器兩端，在無負載時的電壓爲 3,500 V ，在最大負載下的電壓爲 3,000 V ；則此整流器的電壓調節率爲：

$$\frac{3,500-3,000}{3,000}\times 100=17\%$$

負載下的電壓降落越小，其電壓調節率因百分率越低而越佳。

電壓穩定性可藉在整流器中增加洩放電流而獲得改善。例如一整流器的最大負載電流爲 300 *mA*，其最小負載電流假定爲 60 *mA*， 倘此整流器未有洩放電流時，其電流變動率爲：

$$\frac{300-60}{300}\times 100=80\%$$

今若在此整流器的分壓器中加一洩放電阻，使經常犧牲 20 *mA* 的洩放電流，則此整流器的電流變動率將爲：

$$\frac{300-60}{300+20}\times 100=75\%$$

可見洩放電流的增加，可以改善供電電壓的穩定性。

【電聲學】(Electro-acoustics)

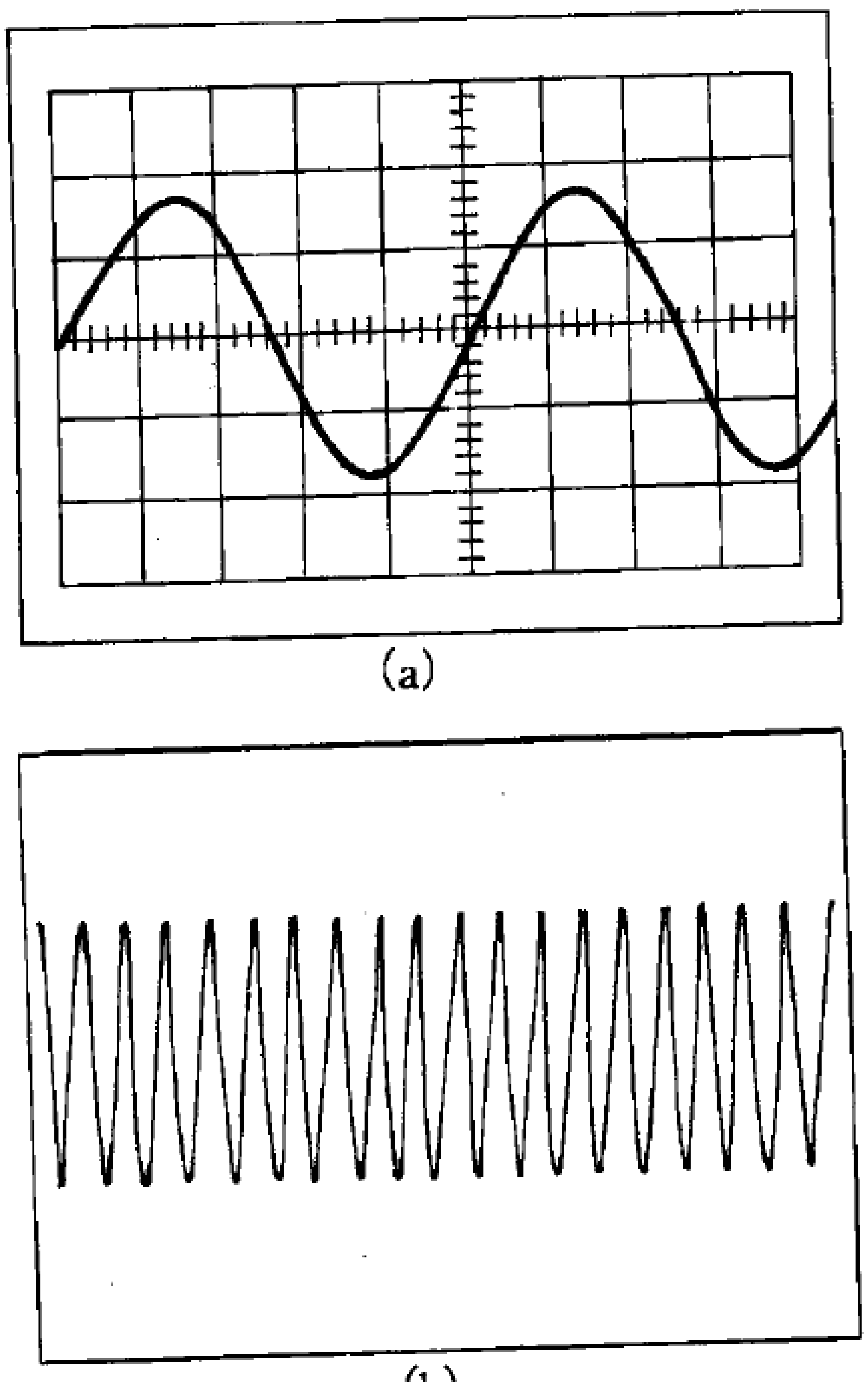
這是包括聲音的電氣傳送、記錄和重發中一切問題的一個技術部門

。

【電擺】(Electrical pendulum)

利用單擺可把一天的時間間隔分成某些等分，如果單擺一天內剛好擺動 86,400 次，我們便可把此單擺每振動一次的時間間隔定義爲一秒，每 60 秒叫做一分鐘，每 3,600 秒定義爲一小時，故一天爲 24 小時。我們可利用相同的原理把一秒鐘的間隔分割成更小的間隔。但是普通的單擺無法使它擺動得任意地快。

電擺即振盪器 (*oscillator*)，它的振動週期可以很短很短。電子振盪器的原理與單擺相似，在一電子振盪器內電子從電容器的一極到另一極做往復的簡諧運動。電子的這種運動情形 (或者電流的大小) 可以從一示波器的銀幕上看出來，如圖 13—416 所示。一示波器的縱軸讀數常表示電流或電壓的大小，横軸則表示時間的長短。故一振盪器之振動週期可用一示波器讀出。假設我們做一組振盪器，使一振盪器之週期比前一振盪器之週期短 10 倍，則我們便可利用它們來量度極短的時間間隔。圖 13— 416 (*b*) 所示之振動週期比圖 13— 416 (*a*) 短 10 倍。目前的電子工程技術已能製造週期短至 10^{-12} 秒的振盪器。因此，比 10^{-12} 秒長的時間間隔都可用電子振盪器直接量出來。



(a) (b)

圖 13 — 416 用電子振盪器量時間

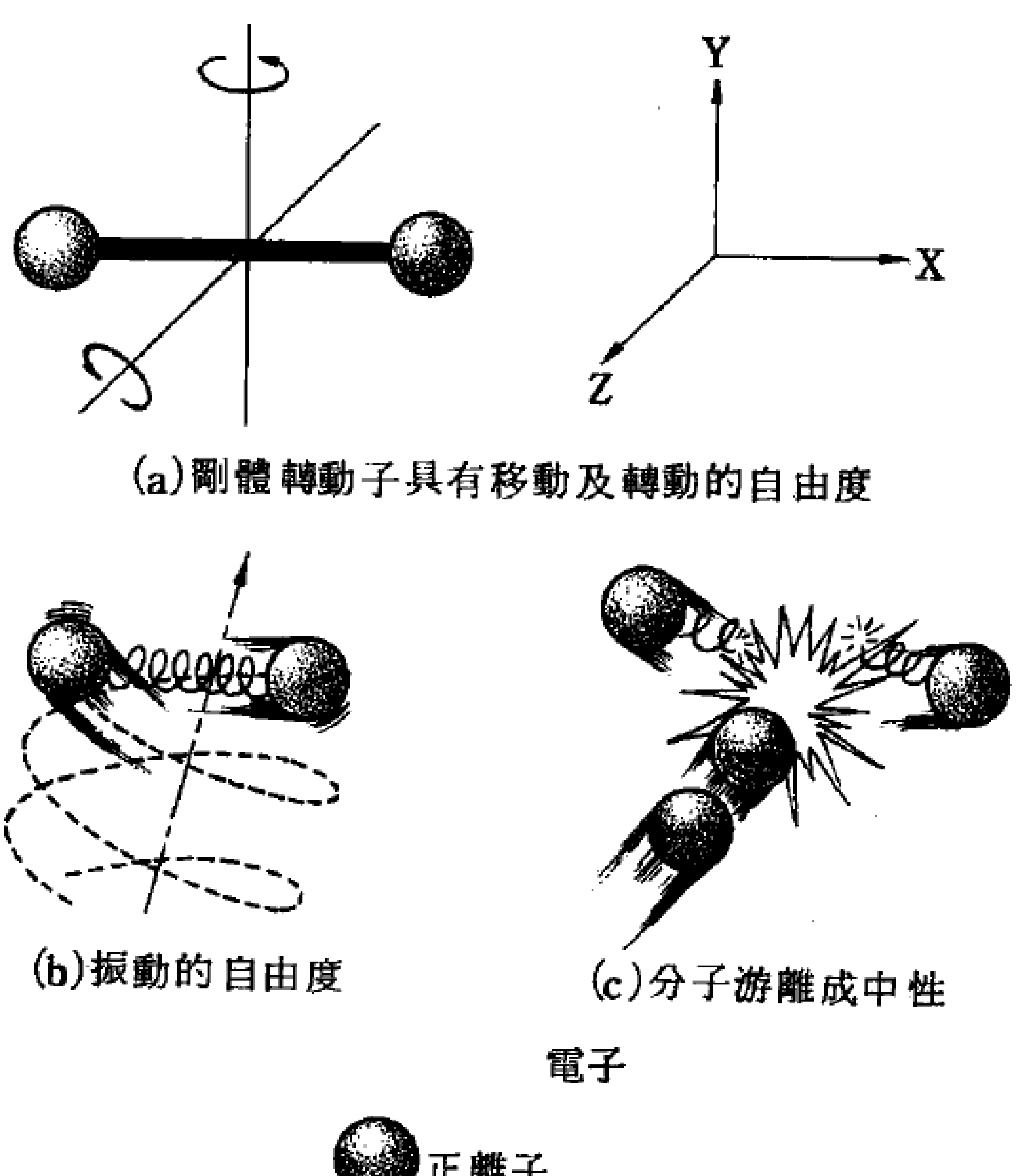
電擺之另一意義是爲驗物體帶電與否之器械，蓋以長實心玻璃棒固定於臺上，將其上端鑲置一鉤，鉤上懸一木髓球，以木髓球近帶電體，若被吸引，則知帶電體上有電，否則無電。又如先以陽電授與木髓球，持近帶電體，若被吸引，則帶電體所帶之電爲陰電，若相排斥，則帶電體所帶之電爲陽電。故用電擺，既可檢驗帶電體帶電與否，又可檢驗其所帶之電爲何種。

【電離】(Ionization)

雙原子分子可用一個剛體的轉動子或啞鈴所代表 (圖 13 — 417) ，也可以用一根二端繫有硬球的橡皮棒來代表。在絕對零度 (攝氏零下 273 度或用克氏零度代表) ，分子幾乎不再運動。在溫度高於絕對零度時，任何物體方能交換能量。

在溫度趨近於絕對零度時，分子能向前方、旁邊或上方運動。更科學化來說，分子能在 *X* ，*Y* 和 *Z* 方向移動 (圖 13 — 417(*a*)) ，我們說，分子具有三個移動的自由度 (*degree of freedom*) ，每一個自由度都具有一特殊的能量。

當氣體溫度達到大



(a)剛體轉動子具有移動及轉動的自由度

(b)振動的自由度

(c)分子游離成中性

(d)原子的電離作用

圖 13 — 417

約 10 度時（克氏）或者攝氏零下263°時，分子得到兩個轉動的自由度，其方向可由圖 13— 417(b) 看出，在這種溫度，原子之間的橡皮棒子仍然非常堅固，但是當溫度漸漸升高時，這根棒子好像是彈簧，開始具有振動的自由度。這種情形大概發生在 1,000°K或 727°C 的時候。由於氣體分子之間的碰撞而造成了原子轉動以及在這二個原子之間的棒子像彈簧一樣的作用。當二個分子互撞的時候，每一個分子的原子都從它們緊束的母體拉遠，動能轉變成位能，下一步，橡皮棒又像彈簧一樣把它們拉近，而使位能又轉變成了動能。在一個振動的週期中，一半時期是位能，一半時期是動能。

溫度愈增高，分子之間的衝擊亦愈強，直等到連接原子之間的棒子不能忍受這種張力，最後棒子斷了，每一個原子在不同的方向飛開。棒子（或謂分子鍵）斷了，此種現象稱爲游離。氧大約 3,000°K 時開始游離。而氮要在 4,500°K左右才開始游離。

溫度一直增加到超過游離溫度的時候，環繞在原子核外軌道上的電子成受激狀態。這種受激作用增加了整個氣體的總能量，但並沒有顯著的效果顯現出來，一直等到約 5,000°K 的時候，更高的溫度，使電子脫離它們的軌道。當電子離開原子最外層的軌道時，原子不再呈中性，而是多了一個正電荷。一個原子帶有一個額外的正電荷謂之正離子（*positive ion*）。

當許多原子失去了電子，在氣體中離子的數目增加了，這種氣體如果充分電離，則可在工程應用上加以考慮。這種情形通常發生在一氣壓，溫度 10,000°K或更高溫度的時候。

游離作用及電離作用決定在壓力及溫度，但又被材料所限制住，因爲很少材料能忍受這麼高的溫度。高溫有助於電離作用，假定壓力一定，溫度增加，也增加了電離量。例如氣體在大氣壓及 10,000°K時能充分電離是不成立的。但在某些情形下，當壓力降低時，溫度只要6,000°

K時，就能充分電離。

【電離比值】(Specific ionization)

物質中每一單位距離之離子對數量。

【電離位】(Ionization potential)

從一原子或分子中取出一電子所需之能量稱爲電離位，以 I 表之，則射出電子之動能可表爲

$$E_k = h\nu - I$$

寫這式時，已略計離子之反衝能量。欲產生光電離，光子之能量必須等於或大於 I ，I 值視射出電子原佔之穩定態而定，例如，若一電子在一氫原子中從基態射出，光子之最小能量必須爲 13.6 eV ； 但若電子是在第一激發態，則只需 3.4 eV 。

【電離能】(Ionization energy)

電離能是把一個電子從原子軌道拿到無窮遠處而使這個電子靜止所消耗的能量。一個氮或氧的原子，其電離過程可由下式表明

$$N + U_i \rightarrow N^+ + e$$

U_i 就是電離能， 可由光譜儀做實驗所得的數據來決定。一般都使用電子伏特 (*eV* ; *electron volts*) 爲其單位。 所謂一個電子伏特就是一個電子在眞空中通過一個伏特的電位差所得到的能量。特別地，其意義是說電子由靜止狀態加速通過一伏特的電位差時，所具有的動能。其能量關係可寫成下列等式

$$eV = \frac{1}{2} m_e v_e^2$$

方程式右邊代表電子動能，m_e 代表電子質量，v_e 代表電子運動速度，解此式得

$$v_e = \frac{2eV}{\sqrt{m_e}}$$

把不同的已知數據代入上式，v_e 用米/秒表之，大略得

$$v_e = 5.94 \times 10^5 \sqrt{eV}$$

電子電荷為 1.602×10^{-19} 庫倫，因此一電子伏特相當於 1.602×10^{-19} 焦耳或者 1.602×10^{-12} 爾格的能量。

計算氦原子產生電離作用時的電子速度 v_e 之前，必須知道氦的電離能。在右表有不同元素的電離能。可看出氦的電離能數值是 24.58 eV。把表上的數值代入上式得下面的結果：

幾個代表性的電離位能

元　素	電子伏特（eV）
氬（*argon*）	17.755
碳（*carbon*）	11.264
鍶（*cesium*）	3.893
氦（*helium*）	24.580
氫（*hydrogen*）	13.595
汞（*mercury*）	10.440
氮（*nitrogen*）	14.540
氧（*oxygen*）	13.614
鉑（*potassium*）	4.339
鎢（*tungsten*）	7.940

$$v_e = 5.94 \times 10^5 \times \sqrt{24.58}$$
$$= 2.95 \times 10^6 \text{ 米/秒}$$

上表所給的電離能皆指最外層電子離開軌道所需要者。

【電離原子】（Ionized atom）

失去或擄獲電子之原子稱為電離原子。一個原子如失去一個電子則稱單電離（*single ionized*），其符號為“＋”，如 Si^+；二個電子失去時則為雙電離，寫成 $Si^{+\times}$，如失去三個電子時為三倍電離，寫成 $Si^{+\times *}$，餘類推。故原子必具一個純正電荷（*net positive charge*）。

【電離真空計】（Ionization vacuum gauge）

在 $10^{-4} \sim 10^{-6}\,mmHg$ 以下高真空的測定，則需要使用電離真空計

（圖 13－418 ）。因爲燈絲需要加熱，不可使用測定 10^{-3} *mmHg* 以上的眞空度。在三極管陽極加一數十伏特電壓，而在柵極加＋ 100～250伏特電壓。將燈絲通電流加熱到有數*m A*的柵電流的流通，則所產生的熱電子將與眞空管內氣體碰撞而電離它。此時產生的陽離子被陽極的負電壓吸引，而在微安計內有電流流通。設此陽離子電流爲 *I* ，電子電流爲 *i* ，此眞空管內壓力*P*則等於

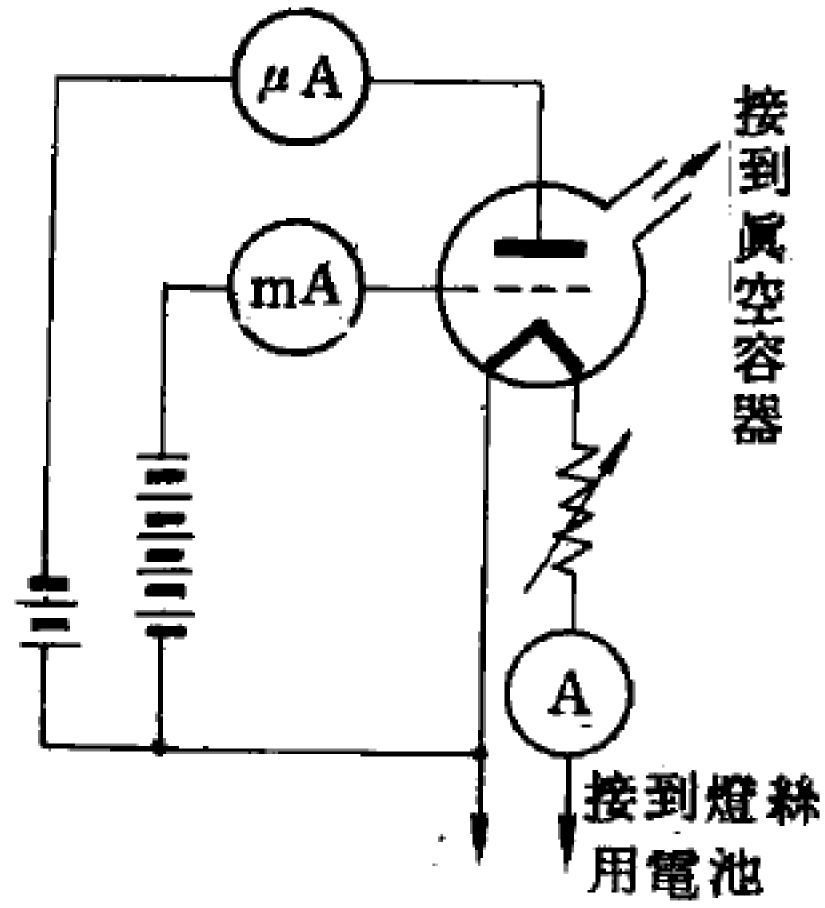


圖 13 — 418
電離眞空計原理圖

$$P = k\ I / i$$

式中 *k* 爲常數。當 *i* 在 20 *mA* 範圍內，此關係還可成立。如先由其他眞空計做好校正，則可以由微安計的讀數測定眞空度。

實際使用時，應把電子電流保持一定，例如保持 5 *m A*，而以陽離子電流若干 *μ A* 等方法表示壓力。

【電離氣體】（ Ionic gas ）

氣體中一部分原子已分解成離子和自由電子。

【電離電壓】（ Ionizing voltage ）

指氣體管到達此電壓值時，氣體卽生離化作用，此時氣體管進行導電。又名著火電壓。

【電離箱】（ Ionization chamber ）

測量輻射如*X*射線、宇宙射線等強度之儀器。在此儀器中之氣體可依其產生之電離輻射量，而量度其強度。

【電雙極輻射】（ Electric dipole radiation ）

乃根據古典理論，在加速運動狀態下的帶電粒子，能產生電磁輻射。一個運動中的帶電系統所造成的輻射場，我們可以視之爲是由於電雙

極、磁四極、電四極或其他高階多極振動所造成。

所謂電雙極，定義爲兩個電性相反、電量相等、相距爲 r 的電荷。他們的雙極矩爲

$$\vec{P} = q\vec{r}$$

式中 q 爲電荷的電量。如果電雙極的雙極矩在作週期性的改變；即是說這雙極系統振動頻率爲 $\nu = \omega / 2\pi$ ，就有輻射產生。根據古典理論

$$P = P_0 exp (i\omega t)$$
$$= q r_0 exp (i\omega t)$$

式中 $\vec{r_0}$ 爲當時間 t 爲零時兩電荷的距離，$\vec{P_0} = q\vec{r_0}$ 爲時間等於零時的雙極矩，若將上式寫作複數式，並取其實數部分，則

$$P = q r_0 cos (2\pi\nu t)$$

雙極振動所輻射的功率爲

$$\frac{dE}{dt} = P_0^2 \frac{16\pi^4\nu^4}{(3c)^2}$$

式中 c 爲光速。

【電離層】(Ionosphere)

即游離層。

參閱“游離層（ *Ionosphere* ）”條。

【電離輻射】(Ionizing radiation)

電磁輻射（ α、β、γ、X 射線或中子）於通過一物質時乃產生離子，是爲電離輻射。

【電鐘】(Electric clock)

時鐘指針走動的原動力，得自交流電源者。

【電爐】(Electric stove)

電爐（圖 13—419 ）的主要構造，是一個耐火的泥盤，盤內裝有高電阻金屬絲如鎳鉻線等。使用時將鎳鉻線的兩端連接電源，由於

電流的熱效應，可使鎳鉻線紅熱以供應用。

【電爐光譜】（Furnace spectrum）

物質或材料在電爐被熱至白熱或蒸發時所產生之光譜。其溫度相當於5,000°*F*以下。

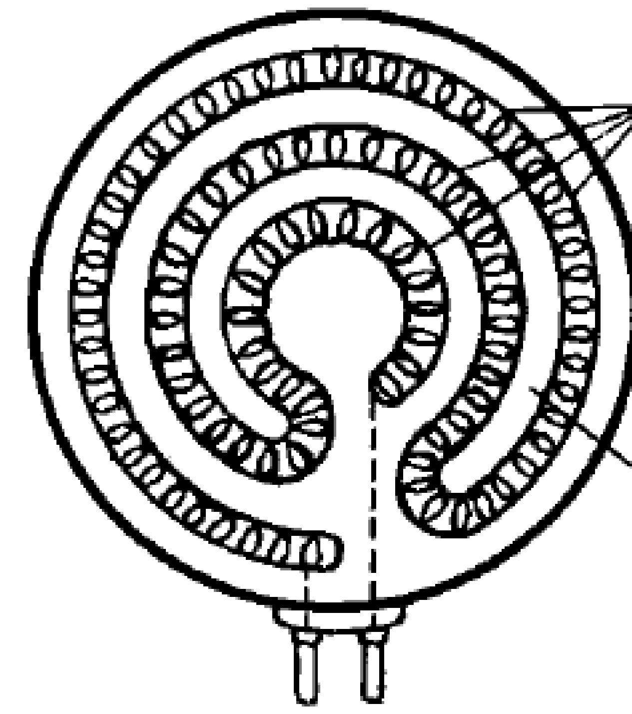


圖 13 — 419 電爐

【電鑄術】（Electro-typing）

是一種複製硬幣、小型藝術品、鉛版和其他類似物品的技術，其操作原理係利用電解（*electrolysis*）；故電鑄術也可稱爲電版術或電氣複製術。

電鑄的方法係將欲加複製之物品（例如一枚硬幣），用蠟或石膏製一凹模（*matrize*），模面塗以石墨或青銅粉使之導電，置入電解液（例如硫酸銅溶液）中作爲陰極。在本例中，陽極可以銅片充之，其作用在補充硫酸銅電解時耗去的銅。通以電流之後，銅卽析出而澱積於陰極上，成爲逐漸加厚的一層。待銅層達到預定之厚度，再將陰極取出，小心的去掉凹模，複製手續卽告完成。

【電纜】（Cable）

電纜是用來輸送電力的成束的粗電線，它能通過比較窄小的地帶，不怕潮濕，能防止一般的化學性侵蝕和機械性損傷，敷設方便。所以在發電廠或工礦企業內，用途極廣。

電纜的敷設方式很多，當根數較少時可直接埋入土中，當根數較多時需敷設在專門的溝道或隧洞內，特製的水底電纜（*submarine cable*）可以放在水內，通過江河或海洋。電纜通常是由許多根導體組成一具大徑的導體，封在絕緣套中而成。

一般電纜會產生大量的焦耳消耗，如果用超導體（*superconductor*）做導線來輸送電流，則可以避免大量的焦耳消耗，美國貝爾電話公司目前正在進行這項研究，並估計保持電線於轉變溫度以下的成本，是不

是抵得過目前輪電方式的浪費，如果合算的話，就有全部改裝的價值了。

【雷】(Thunder)

雲間放電所產生的聲響。

參閱“雷電 (*Thunder and lightning*) ”條。

【雷比】(Isidor Isaac Rabi 1898 -)

美國物理學家，1898 年七月廿日生於奧國，1919 年康乃爾大學學士，1927 年哥倫比亞大學博士。1927 年至 1929 年在歐洲慕尼黑、哥本哈根、漢堡、來比錫、蘇黎世等大學研究。1929 年任哥倫比亞大學講師，1930 年升助理教授，1935 年升副教授，1937 年升正教授，現已退休。他在 1940 至 1945 年離開哥大到麻省理工學院放射性實驗室爲美國政府研究雷達，並兼原子彈研究顧問。1955 年原子能和平用途會議副主席，1958 年日內瓦原子和平會議美國代表團團員。雷比將史特恩所發明的測量原子磁矩的分子射束技術加以改進，用共振方法更準確地量取原子核的磁矩。曾獲 1944 年諾貝爾物理學獎。

【雷克納格爾裝置】(Recknagelscher apparatus)

液體於液面某處所作用之壓力，可以同樣的強度，傳佈到壁面的每一部分。設想有一容器，其頂部壁面上，有大小活塞各一，能在與其相當之圓筒中，輕易地移動，此即雷克納格爾裝置 (圖 13 — 420)，倘在具有 2 厘米² 面積的小活塞 f 上，加以 3 仟克的負荷，即有 $\frac{3}{2} = 1.5 \frac{\text{仟克}}{\text{厘米}^2}$ 的壓力，經由全部液體傳佈至各處，當然也包括由下向上，作用於大活塞 F 上的壓力。假設此一活塞之面積爲 8 厘米²，則該活塞將被 $8 \times 1.5 = 12$ 仟克的總壓力，向上舉起。換言之，必須將12

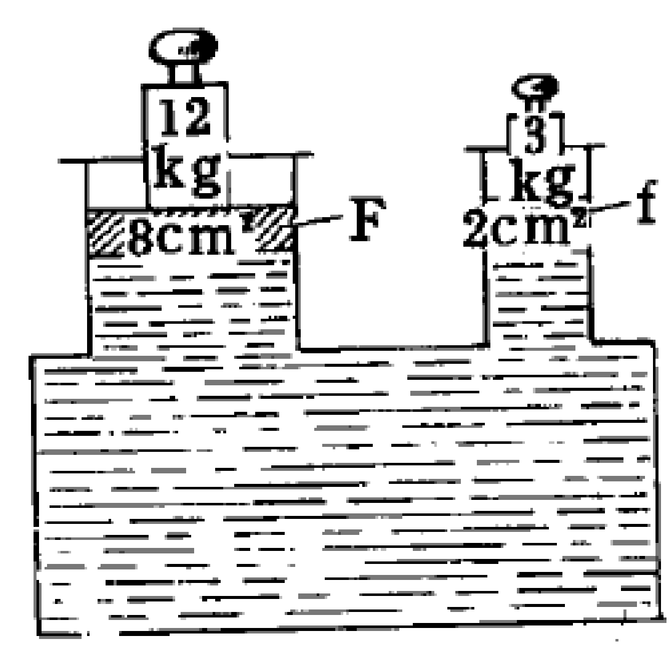


圖 13 — 420
雷克納格爾裝置

仟克的負荷，加在大活塞上，方才能使液體內部，得到平衡的狀態。由此裝置，可知總壓力之增大，係與雙方的活塞面積有關，那就是說，如果大活塞的面積，要比小活塞的面積大1，2，3等倍，則各位必須將比小活塞上的重量負荷大1，2，3等倍的重量負荷，加在大活塞上，才能使液體仍然處於靜止狀態。故利用此裝置可以用來舉起人力所無法勝任的重物。

【雷其理論】（Regge theory）

1959年義大利人雷其所倡，最先只應用在兩個粒子的非相對性彈性散射中，後來被葛爾曼（*Gell-Mann*）、丘（*Chew*）等推廣到相對性散射。這種理論將粒子的自旋值視爲複變數，而將所有量子數完全相同但自旋之差爲二的粒子或共振態，當做互相有密切關係的粒子。

【雷納】（Philipp Edwerd Anton von Lenared 1862—1947）

匈牙利名物理學家，1862年六月七日生於匈牙利之波茲蘭尼（*Pozsony*）。先後在布達佩斯、維也納、柏林、海德堡等地受教育。1896年任海德堡大學理論物理學教授，1898至1907年在基爾大學任教，1907年返海德堡大學任實驗物理學教授。雷納首先研究由克汝克士管（*Crookes tube*）發出的陰極射線射入空氣時的性質，今稱爲雷納射線。1905年獲諾貝爾物理學獎。1909年任新成立的海德堡大學放射性研究所所長，於1931年退休。1947年五月二十日逝世。

【雷納窗】（Lenardsches fenster）

陰極射線質點的荷質比 $e/m = 1.76\times10^{6}$ 庫倫／克，可有兩種意義，即非陰極射線質點之電荷爲氫離子之1,840倍，而質量與氫原子一致的話，便是陰極射線質點帶一基本電荷，而質量則爲氫原子之1,840

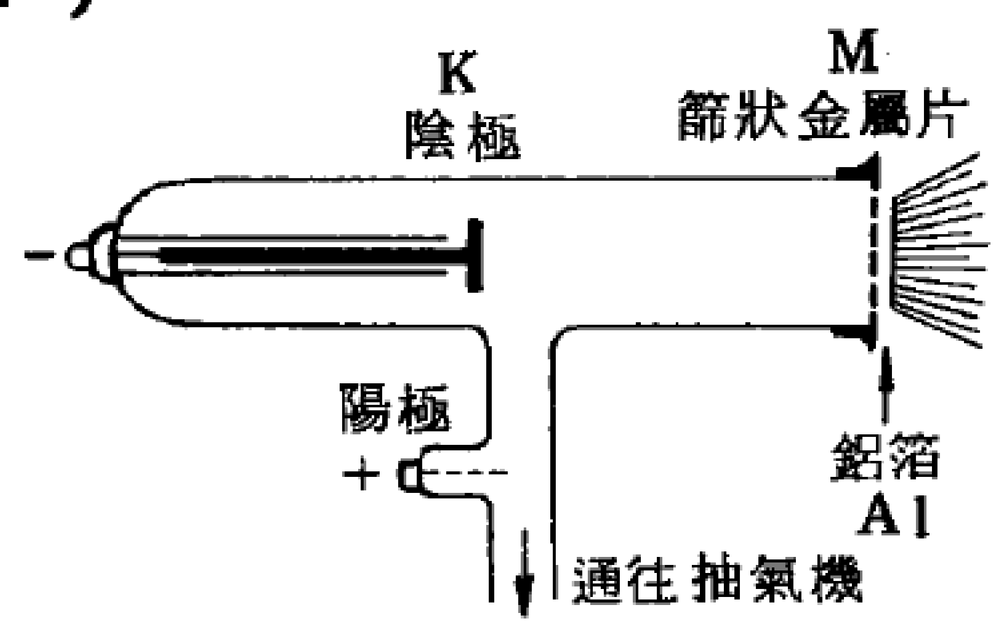


圖 13 — 421

分之一。此問題爲德國物理學家雷納所解決。彼不但集陰極射線研究之大成，抑且奠定了近代原子物理學的基礎。雷納所用之管，示如圖 13 — 421。其與陰極 K 相對之一端，有一篩狀之金屬片 M，片上之孔均爲一鋁箔 Al 所封閉，此即謂雷納窗。陰極射線之質點可穿透該鋁箔，而進入室內之空氣中。由於其常與空氣之分子碰撞，故其所穿行之範圍極小。雷納證明當其與空氣分子互撞時，即產生一個帶一基本電荷的離子。此僅當陰極射線質點本身帶有一個基本電荷時，始爲可能。

【雷射】（ Laser ）

所謂雷射即是“由輻射線之激勵放射，以完成光波之放大作用”（*light amplification by stimulated emission radiation*）的縮寫，其原理及作用和雺射完全相同，唯一差別在於雺射波長在微波範圍，而雷射在可見光範圍。從 3,000 Å到 1,000,000 Å。當雺射一開始使用，立即有人想到以光代替微波來製造雷射。原理雖相同，但仍有許多難題。最困難的是經光波激發的原子可於 10^{-8} 秒鐘內因自然發射而衰變，所以在雷射中必須設法在被激發的原子消耗掉以前，很快予以能量的供應，才能有促使放射產生。幸虧有些物質的激發態生命期較長，因之自然放射進行較慢。要把能量加於原子

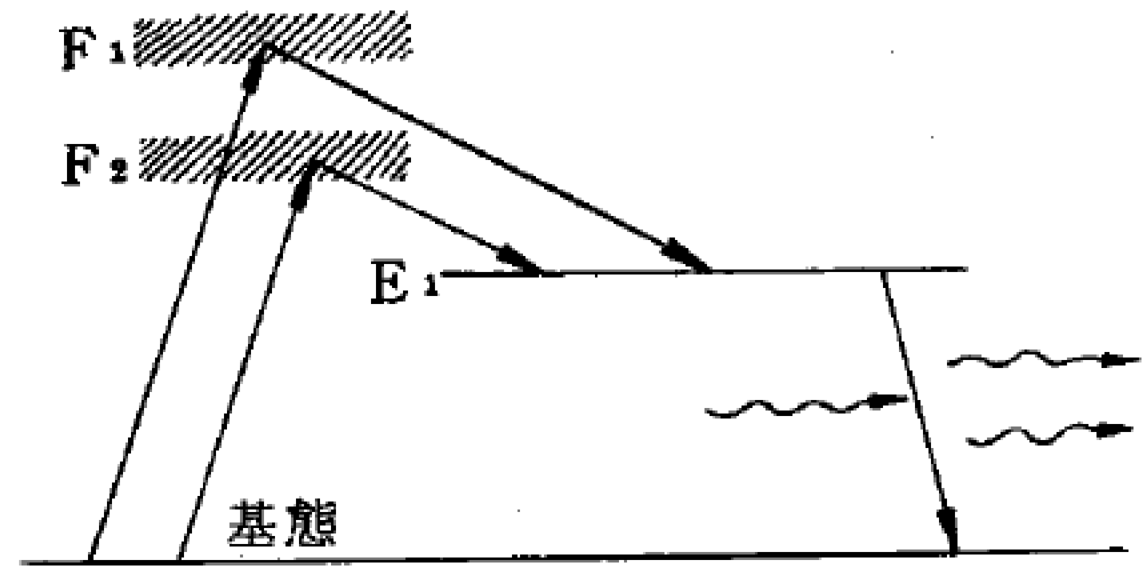


圖 13 — 422

紅寶石結晶體中鉻原子的幾個能階。自閃光管中射出的光給電子以能量，而使其進入兩個寬濶的能帶 F_1 及 F_2，然後再迅速落入極清楚且較穩定的 E_1 態。假如具有適當能量的光子於此時到達就會發射第二個光子而進入基態。

，最顯而易見的方法是用強烈的閃光照射。但通常閃光包括所有的顏色，即各種不同波長的波都在其中。因此其光子亦有各種不同的能量，而其中僅有極少數光子的能量恰能適合所要引起的躍遷，所以很難看出如何使能量迅速地轉移到原子上，而同時激發其中的大部分。

1958 到 1960 年間湯恩斯及貝爾研究室之蕭洛（*Arthur Shawlow*）研究了克服這些困難的各種裝置，他們考慮一旦獲得這種光以後，如何才能使其不向外散射而損失。於是他們注意到紅寶石的光學性質。這是一種無色氧化鋁的晶體，但有極少量的鉻混雜其中，因而呈紅色。圖 13—422 表示鉻原子的有關能階與一些可能發生的躍遷。鉻原子可以吸收甚多頻率不同的光而躍遷至能帶F_1和F_2，隨即很快的將能量過渡給鄰近鋁氧化物的結晶體而躍遷至能態E_1。然後再放出紅光而回到其基態。這些過程隨時都發生在紅寶石中，因而使其有特殊的紅色光澤。實際上這些鉻原子是從入射的白光中吸收藍光與綠光（分別相當於F_1，F_2 能帶）而製造紅光。他們兩人共同寫出了雷射原理的大綱，並擬出了一種新的構想，建議共振的效果可由波動在相當長而薄的柱體來回反射而達成。

1960年七月麥曼（*Theodore Maiman*）在休士研究室（*Hughes Research Laboratories*）製造成功第一個紅寶石雷射。他用的紅寶石是人工合成的，所以並不眞是紅色而是粉紅色，每邊約為一厘米長，而其兩端表面則磨得非常光滑而且互相平行。然後再將這兩端表面鍍銀，使其一端成為完全反射面，另一端則反射 75 %的光而任由其餘部分通過（圖 13—423）。

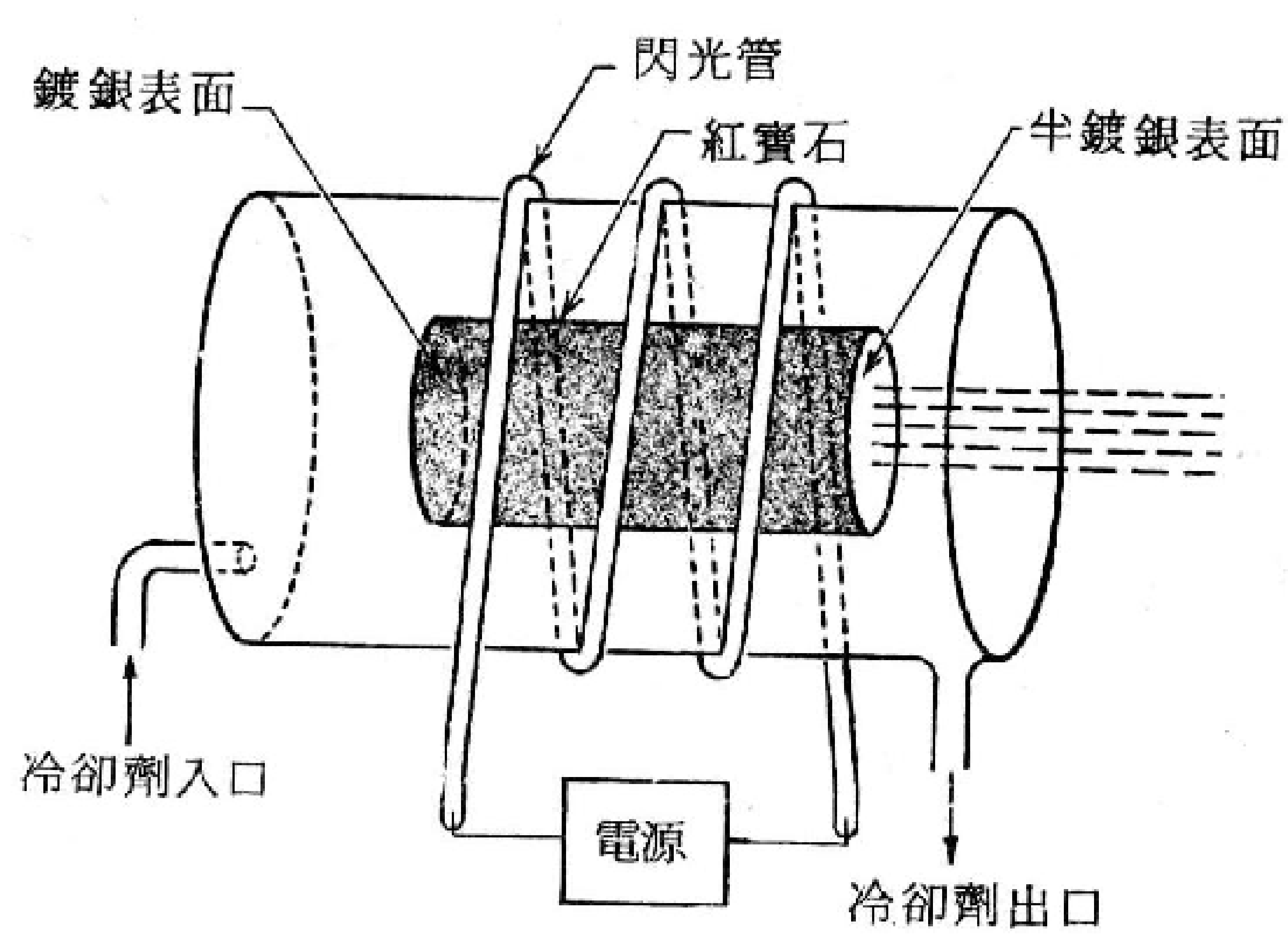


圖 13 — 423　紅寶石雷射

在紅寶石中原子排列的很有秩序。當不被激動時這些原子的活力是正常的，但是當由充滿氣體的玻璃管發射的

光照到它們時，這些原子就吸收光子（*photon*）而跳躍到一個較高的能階（*energy level*）。

很快的這些被激動的原子將再回復到正常的狀態。同時放出一個光子。這個光子會激動鄰近的原子使之產生同樣的過程。光子是向四面八方放射的，因此有許多會逸出紅寶石之外。但是其中的一些將會在紅寶石中移動較長的距離，不斷的碰撞它們所遇到的原子。當碰撞到鍍銀的頂端時，這些光子會被反射回來而向著紅寶石的另一端移動，沿途不斷的激動更多的原子。

如果紅寶石一直被光照射著，那麼在它兩端間來回移動的光子將不斷的增加直到它們突然從較薄的鍍銀端逃出紅寶石。麥曼就是以這樣一束強大的紅光開始了雷射的時代。其力量十分驚人，最高功率可達每平方厘米 3,000 仟瓦， 比太陽表面的強度還要大四倍多。

自雷射放出的光還是十分單調的。換言之，其中的光子幾乎都有相同的波長，彼此也幾乎同相，其進行方向又極接近於平行。一個最優秀的雷射，其光柱在一哩中只散出幾吋。這些性質使它能把一塊 1/8 吋厚的鋼板穿一小孔，也能把所有已知的物質汽化。

新式雷射比紅寶石雷射更爲厲害。 1962 年郝爾瓦（*R.W.Hellwarth*）及馬可稜（*F. J.Mcclung*）發現如果延遲雷射的發射至鉻原子受激完成時，則可於一巨大的脈衝波中突然放射，歷時僅百萬分之一秒，而高峯能量則可達百萬瓦以上。

脈衝波雷射的潛力是十分可觀的，只是目前它們的用途還極有限，因爲入射的閃光同時也將大量的熱送進晶體及其四周，所以整個儀器需要許多分鐘冷卻以後才能再度使用。要控制如此短時間內的巨大能量自然很不容易，因此在實用上必需要有一個能夠持續操作的雷射，與鏤射振盪器能發出連續的微波信號類似。這種裝置由加凡（*Ali Javan*）及同事們於 1960 年秋天在貝爾實驗室製成。他在大約一公尺長的玻璃管

中用低壓氖氣產生雷射。能量由管內同時存在的氦原子連續供應。總能量輸入約爲 50瓦。 而放出雷射的能量還不到十分之一瓦特。力量雖低，但因爲雷射光柱之集中放射，仍能穿透剃刀的刀片。這種雷射不像無線電波，可以隨意調節其強度與頻率。

到了 1963 年，人們已能把一切無線電波及微波工程方面的技術完全應用於光波，包括放大與頻率調節，所以已可放送調幅（*A.M.*）與調頻（*F.M.*）的訊號。不過所用的雷射，主要物質已不是氣體而是固體，如砷化鎵（*gallium arsenide*）。固態雷射具有電晶體的某些特性，能量係由金屬接觸點注入的電子輸入，當電子在晶體中移至性質稍有不同的部分時，即失去其一部分能量而進入較低能態。

這一種雷射的功率目前僅有一瓦特左右，但將來應當會增加的。現在不妨看看它可能的功用。今日無線電工程師的主要困難是在於各種頻帶的擁擠。發送機自最低可用的頻率以至於最高的都被擠在很小的頻率範圍，以致干擾很大，而且這種情形一年壞似一年。如果通訊能夠擴展到可見光的頻率，問題就可輕易解決，至少可用的頻率範圍就大大增加了。而且一個單獨調節過的光柱之信息載量非常之大。有人曾經估計一個雷射光柱可以同時傳遞目前所有收音機、電視機、電話及電報信號的總和。甚至還能大大增加現有的交通量。到那時每個家庭中男女老幼都可以選擇他自己喜好的電視節目了。現有雷射的頻率（圖 13—424），從可見光譜中黃-橙部分的 5,940 埃伸展到深入紅外區的350,000埃（ 35微米）。 色帶是指示不同型式雷射所能產生最低到最高的頻率。目前爲止，氣體-放電雷射所能產生不同波長的雷射光數目最多，超過 160種。大家都相信半導體雷射能夠產生從 6,500 埃到 31,000埃整個範圍中所有的頻率，但這點仍待證實。

以光柱來處理無線電訊的顯著缺點，便是它們會受阻於雲層，而且不能沿地球的曲率前進。所以必需要以地下管或人造衛星如電訊星（

telstar ）來補救。

這些都是屬於未來的事。目前雷射光柱已用來追蹤衛星的行徑，在

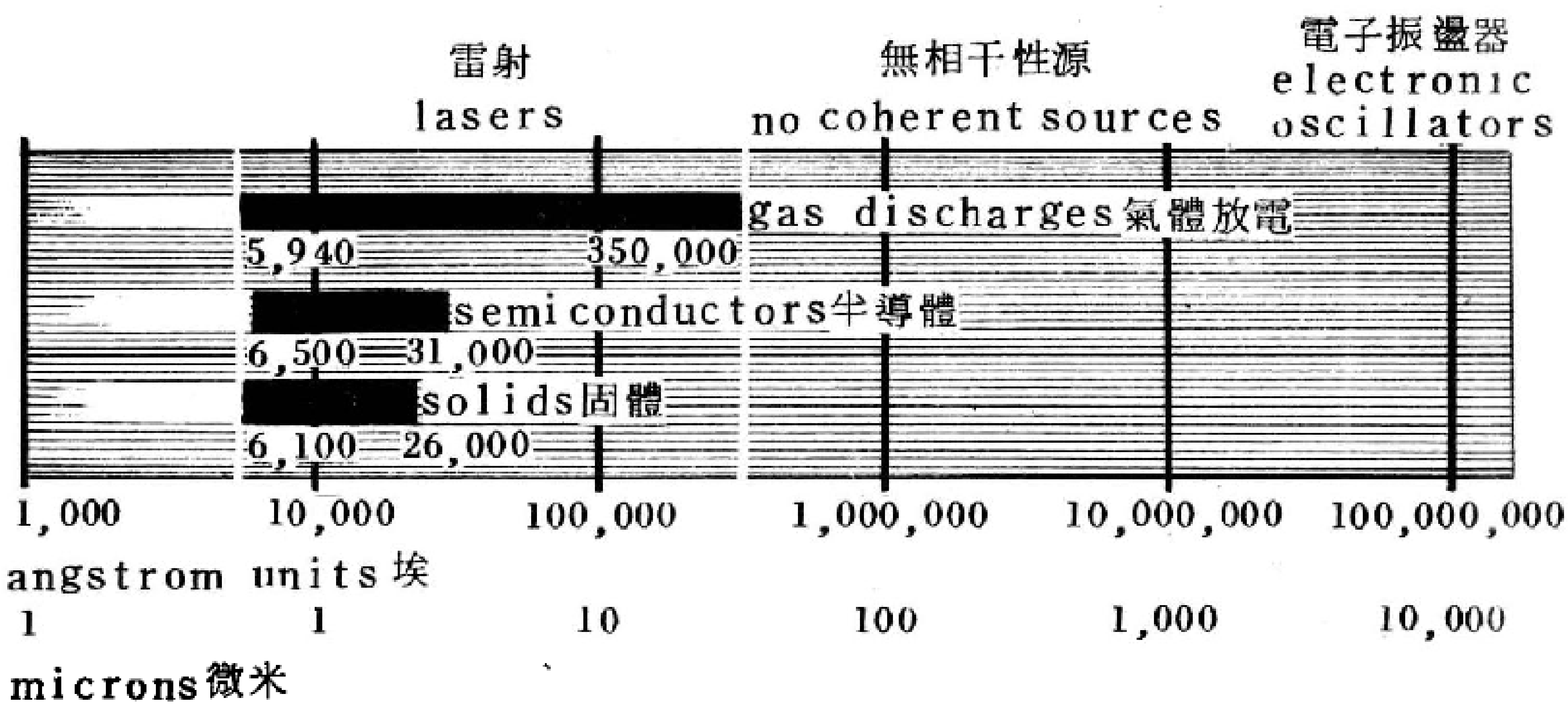


圖 13 — 424　雷射頻率

堅實物質上鑽小孔以及焊接極小的物體。雷射誕生以後所做的第一件有意義的工作爲用於眼部手術；一道不太強的閃光就能使鬆弛的網膜，再與其下面之黑衣相連而只留下小小的疤痕，目前又有人在研究使微小的網膜腫瘤即時消滅的技術。這種手術是準確而無痛苦的，因爲閃光在眼睛開始反射以前就已消逝了。

此外還可作爲星際間的通訊用，或在太空中輸送強烈的電磁波，及地面上之電力輸送，甚至還可用來探測分子內部構造及物質的光譜，及光速之精密測量，科學家用雷射測出的月亮與地球間之距離，誤差只有 15厘米。

雷射的種類大致分爲：

1. 固體雷射——利用在材料中加適當的晶體或玻璃物質而成。

2. 氣體雷射——如氦氖雷射，其雷射光屬於紅外光。

3. 液體雷射——在液體裏加入若干雜質離子或在水或酒精中溶進複雜的有機分子，如染料物質的分子。

4. 半導體接頭雷射——利用半導體接頭的物理性質而成的雷射，

各種雷射一覽表

作用物質（及價狀態）		光束的波長（微米）	寄主物質	放射光束的方式	使用時溫度（°C）
固體或離子雷射	銪(3+)	0.61	氧化釔，塑料	脈型	20
	鉻(3+)	0.70	氧化鋁	連續型	20
	釤(2+)	0.71	鈣、鍶之氟化物	脈型	－196
	鐿(3+)	1.02	玻璃	脈型	－196
	鐠(3+)	1.05	鎢酸鈣	脈型	－196
	釹(3+)	1.06	氟化物，鉬酸鹽，玻璃	連續型	20
	銩(2+)	1.12	氟化鈣	脈型	－253
	鉺(3+)	1.61	鎢酸鈣	脈型	－196
	銩(3+)	1.91	鎢酸鈣，氟化鍶	脈型	－196
	欽(3+)	2.05	氟化鈣，鎢酸鈣，玻璃	脈型	－196
	鏑(2+)	2.36	氟化鈣	連續型	20
	鈾(3+)	2.4～2.6	各種氟化物	連續型	
氣體—放電雷射	氦	從5,940埃（0.594微米）至35微米間160個波長。		連續型	
	氖			連續型	
	氪			連續型	
	氙			連續型	
	一氧化碳			連續型	
	氧			連續型	
	其他氣體			連續型	
半導體注入雷射	磷砷化鎵	0.65～0.84		脈型	－175
	砷化鎵	0.84		脈狀連續型	20 －196
	磷化銦	0.91		脈狀連續型	－153 －253
	砷化銦	3.1		脈狀連續型	－196 －269

其他還有化學雷射等。

上頁表示明射出頻率所對應的各種作用物質，放射光束的方式及使用時最大溫度。在固體雷射中包含了一個液體雷射；即是支持三價銪之籠狀化合物（稱爲螯形質的）的酒精溶液。銫蒸氣雷射未列入氣體雷射中，它是用光來"泵"的，它放射的光束有兩種波長：3.2及7.2微米。除了這個以外，氣體雷射都是藉放電來使它作用。

【雷得】（Rad）

雷得是 *radiation absorbed dose* 的縮寫，是游離輻射（*ionizing radiation*）吸收劑量的基本單位。1雷得的劑量是指每克的吸收物質，吸收3,100爾格的輻射能量。

人一生中（假定爲70年），從自然界吸收的劑量爲7到10雷得。有人認爲少部分的癌症與畸形遺傳，是由此引起的。但以我們目前的知識，這問題事實上尚無法證明。幾天內吸收幾百雷得的全身照射（*whole body irradiation*），將致任何動物於死地。幾百萬雷得能將食物完全消毒。

【雷電】（Thunder and lightning）

雷電是在空氣中所發生的大規模放電。最先持有這種說法的是富蘭克林。

含有濕氣的雲團，因地面之溫暖空氣向上升而造成激劇的上升氣流，即常會變成帶電的雷雲（如圖13—425）。

在雷雲的底部，有時也有部分帶正電的，但大部分爲負電。因此，上方蓄有電

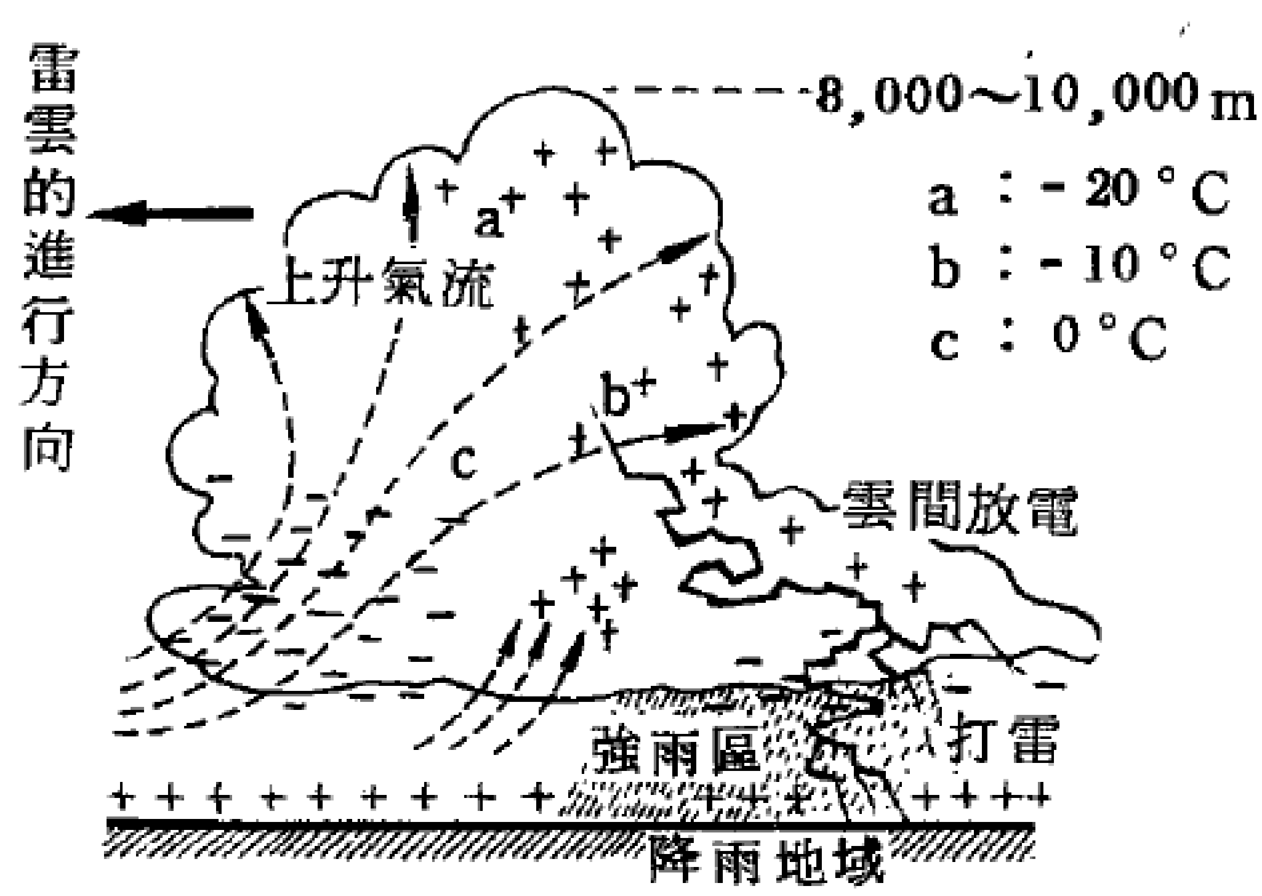


圖13—425　雷雲的構造

荷。雷雲如與其他的雲，或地面接近時，即因靜電感應而使其他的雲或地面發出異種的電荷。這種電量如增加，雲與雲之間，或雲與地面之間即發生放電。放電時發出的光就是閃電，聲音就是雷聲。雷聲常在閃電之後才聽到，是由於光速比聲速快的關係。而雷聲聽來有轟轟的原因，是因爲雷聲在雲與雲之間，雲與地面之間多次反射的結果。

【雷達】(Radar)

雷達是"無線電偵察及測距 (*Radio Detection and Ranging*) "的簡寫，可發現目標物 (或稱爲靶 *target*)， 並決定其存在的距離及方向。雷達將無線電能量送出，然後經遠距離目標物的反射，而將此能量送回雷達的記發機 (*sender*)。 記發機與目標物間的距離，可由無線電波由雷達到目標物，再由目標物回到雷達所需的時間計算出。

雷達的基本原理與無線電通訊系統的原理同時被人所發現。赫茲與馬可尼兩人都曾用超短波 (*ultrashort wave*) 試驗其反射情形，這也就是所謂雷達回波 (*radar echoes*)。 赫茲用金屬平面及曲面證明，電波的反射完全合乎光的反射定律。同時赫茲度量脈衝的波長及頻率，並且計算其速度也發現與光相同，這也就是所謂的電磁輻射。

從此以後再也無人做關於此方面的研究，一直到 1890 年特士拉 (*Nikola Tesla*) 方指出無線電回波實際應用的可能性。 特士拉利用與聲波回音的類比法，以解釋雷達。依此類比法，任何人向羣山喊叫，所得的回聲都與雷達之作用相類似。喊叫出的聲音，再回到人耳，就如同雷達發射的無線電波，再回到記發機完全相似。

如果聲波的速度爲每秒1,100呎，反射體 (目標物) 距發聲器的距離，就可利用回聲返回發聲器的時間決定出。例如由人發出聲音到回聲回到人耳的時間爲兩秒鐘，因此立即可知，聲音來回所行的總距離爲 2 × 1,100 (2,200 呎)。由於反射體 (目標物) 的方向，因爲人向那一方面喊叫，反射體 (目標物) 就在那一方向。甚至於可向不同方向叫喊

，利用回聲回到人耳的時間，求出附近山岳分佈距離的草圖來，當然此圖非常不準確。假如爲了製一山岳的距離圖而連續叫喊，弱的回聲將無法聽到，因此可能失掉很多有用的資料。最有效的方法就是對一個方向，用力發出一很短的聲音，一直到回聲返回後，將時間記下，然後以同一程序，向各方向發喊叫聲，一直到將圖完成爲止。

雷達送出短暫實發電波能量的程序，稱爲脈衝程序。雷達的基本作用原理，幾乎與上述利用聲波回聲製作粗糙的山岳圖相同。圖13—426爲一簡要的雷達系統圖。唯一與聲波測量距離的不同點，在於雷達系統具有一指示器（ *indicator unit* ），指示器中包含有一個與電視收像管相同的觀察管（*viewing tube* ）。 此管可將雷達所發出的脈衝及回波，同時顯示於其標有距離的基線上。還有其他指示器，使雷達藉天線所搜索的資料，製成一個圖，圖 13— 426 的雷達系統，足可提供目標物的區域距離及方向。

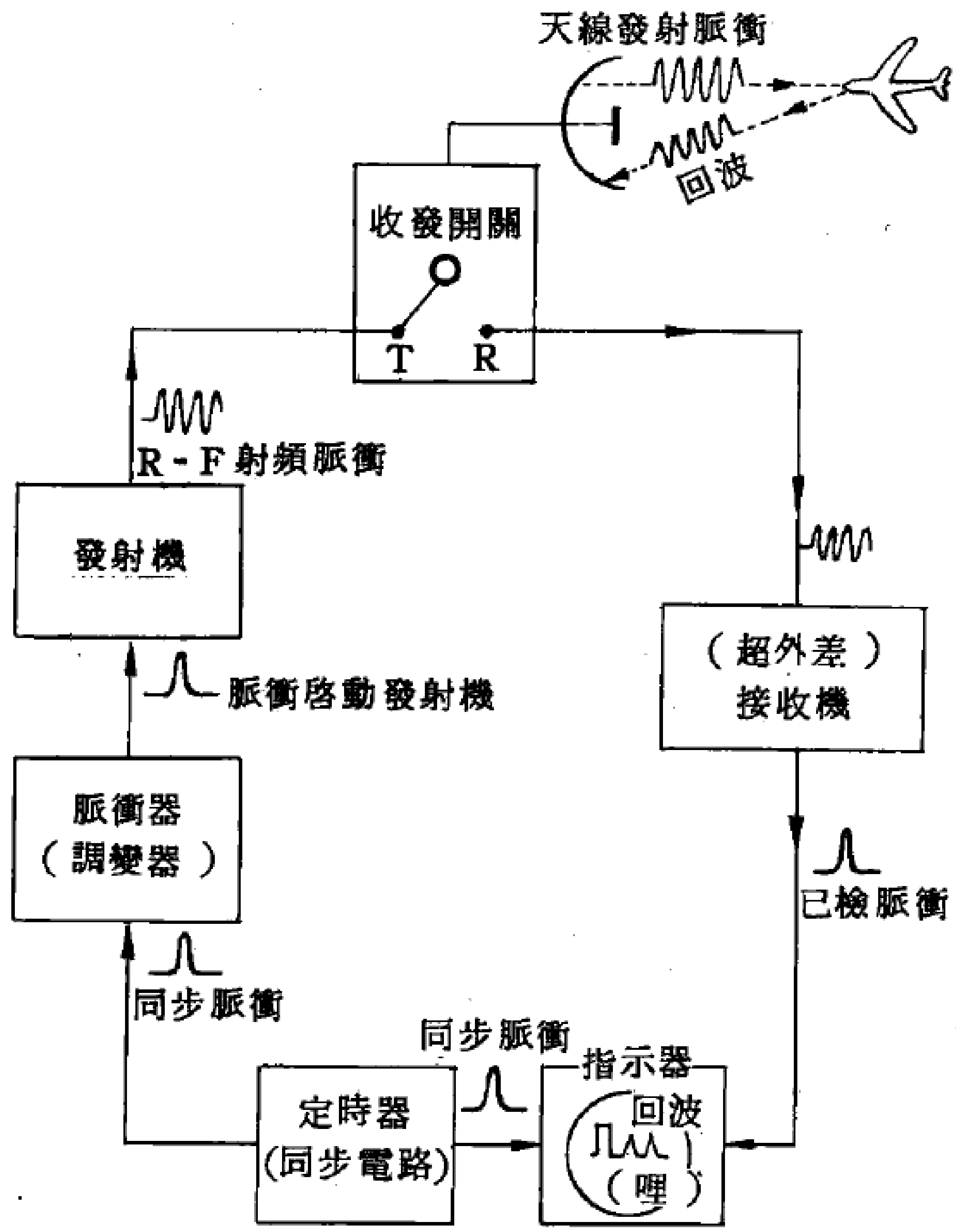


圖 13 — 426　簡單雷達系統方塊圖

圖 13 — 426 是雷達在某一瞬間的作用情形。定時器（ *timer*)必

需保證由脈衝器（ *pulser* ）所發的單一脈衝， 能使發射機在正確時間開始發射，並完全與脈衝指示器標度上出現的時間相同。由高功率磁控管所構成的發射機，藉一發收（ *transmit-receive* ）開關（圖示開關的位置在“發”端），將特高頻率的無線電能量傳到一個轉動天線，然後送至空間。同時，被送出的脈衝，也被錄於指示器觀察管標度線的左側（圖中指示器上的長方波）。如果被發射出的脈衝，打在一個目標物（如船舶、飛機以及靜止物等）上，就會有一微弱的回波反射回天線。如果目標物正好在所發電波束的中心線上，則反射回的回波就最大。實際上，也就是轉動天線所求得的一個最大反射回波信號。

同時快速動作之“發收”開關自動轉至“收”端，使最大回波信號送入接收機。在接收機，回波信號經超外差電路的放大及解調（檢波）後，再送到陰極射線指示管上，回波信號就顯示於原來所發脈衝的右側。由指示器上，原來所發的脈衝與所接收的回波之間的距離，就可以哩或碼直接讀出，如此當然就知道目標物的距離。接收到最大回波信號時的轉動天線方向，也就是目標物的方向。

因爲雷達的作用完全是藉電波的反射原理而成，所以必需用頻率在 1,000 兆赫到 10,000 兆赫的類光微波（ *quasi-optical micro wave* ）方行。雷達所發射的電波可藉拋物體形的反射器，使其成爲極度聚焦的波束，這就像探照燈所射出的光束一樣。此波束藉旋轉天線及拋物體形反射器的精密控制，有系統地對空間進行拂掠搜索。當波束從目標物反射回來時，天線所指向的方向，就表示目標物對天線的水平方位角。以角度單位所表示的水平方位角，通常都顯示於指示器上。

爲了決定目標物與雷達間的距離，雷達的發射脈衝距接收到回波的時間，必需精確測定。因爲雷達電波在空間以每秒約 186,284 哩的光速進行，因此在每微秒的時間內，電波行進約 984 呎或 328 碼。 由於雷達脈衝必需從雷達行至目標物，再由目標物回到雷達，但目標物距雷

達的距離，爲雷達脈衝總行程的一半。約爲每微秒 164碼。此時間可利用電子束在陰極射線管的屏幕上，以直線（鋸齒）拂掠指示出。藉電子束，以已知變動率（如以每微秒 0.01 呎）作水偏向，因此電子束打在螢光幕上所留的痕跡，就形成一個時間標度，或直接用哩及碼表示。

如雷達天線送出一個 1 微秒長的脈衝，同時指示器的陰極射線管電子束在屏幕上，以每 100微秒 1 吋的變動率開始拂掠。再假設雷達脈衝在 32,800 碼的距離從一飛機反射回天線。其情況則示於圖 13 — 427 中。

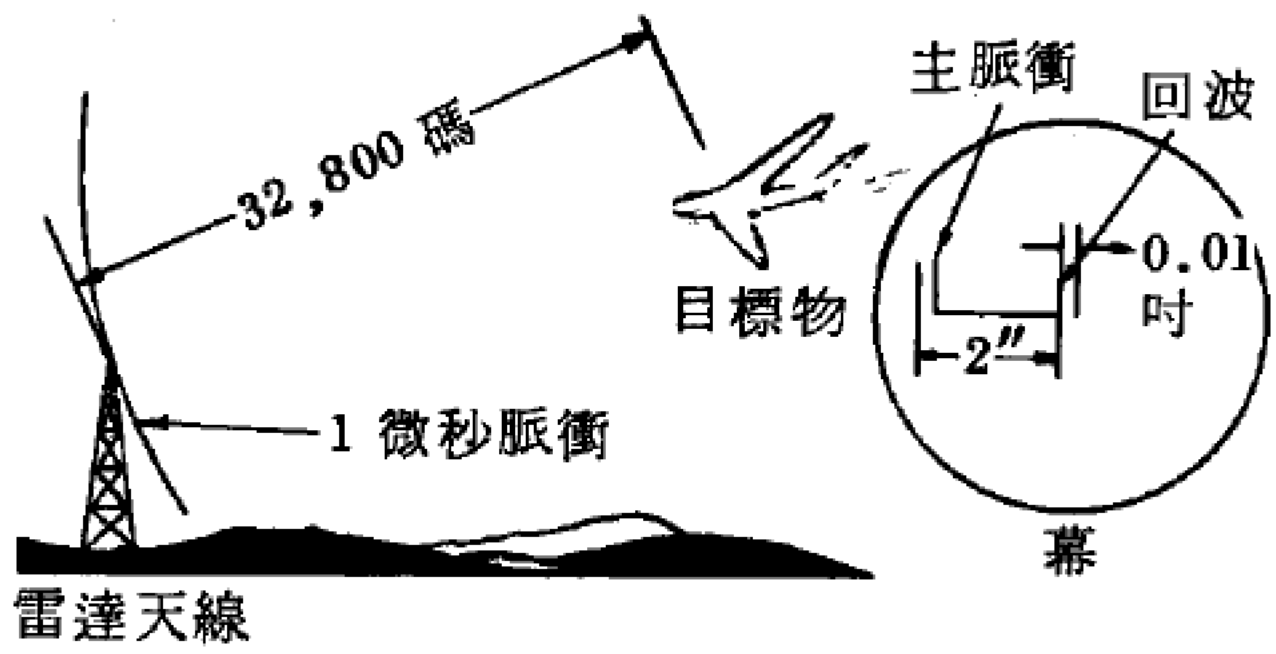


圖 13 — 427
反射雷達脈衝在螢光幕上的定時

當一微秒長的脈衝離開天線的同時，在雷達指示器的左側也顯示出一個 0.01 吋長的主脈衝（發射脈衝）。由天線發射出的脈衝，到飛機進行了 32,800 碼的距離，需時 100微秒，然後返回天線也需 100微秒。結果微弱的脈衝回波也顯示於指示器上，其與主脈衝間差 2 吋距離，或指示爲 200微秒。由於脈衝本身有 1 微秒的長度，所以量度距離時，必需量度兩脈衝的前緣間距離。由於回波信號太弱，所以一個單一回波信號顯示於指示器，很難被發現。因此回波信號，必需於每秒內，在指示器上重複顯示數次，顯示的方法是藉電子束隨天線拂掠的速率（通常天線約以每分 15 到 20 轉轉動）在指示器上拂掠而得。

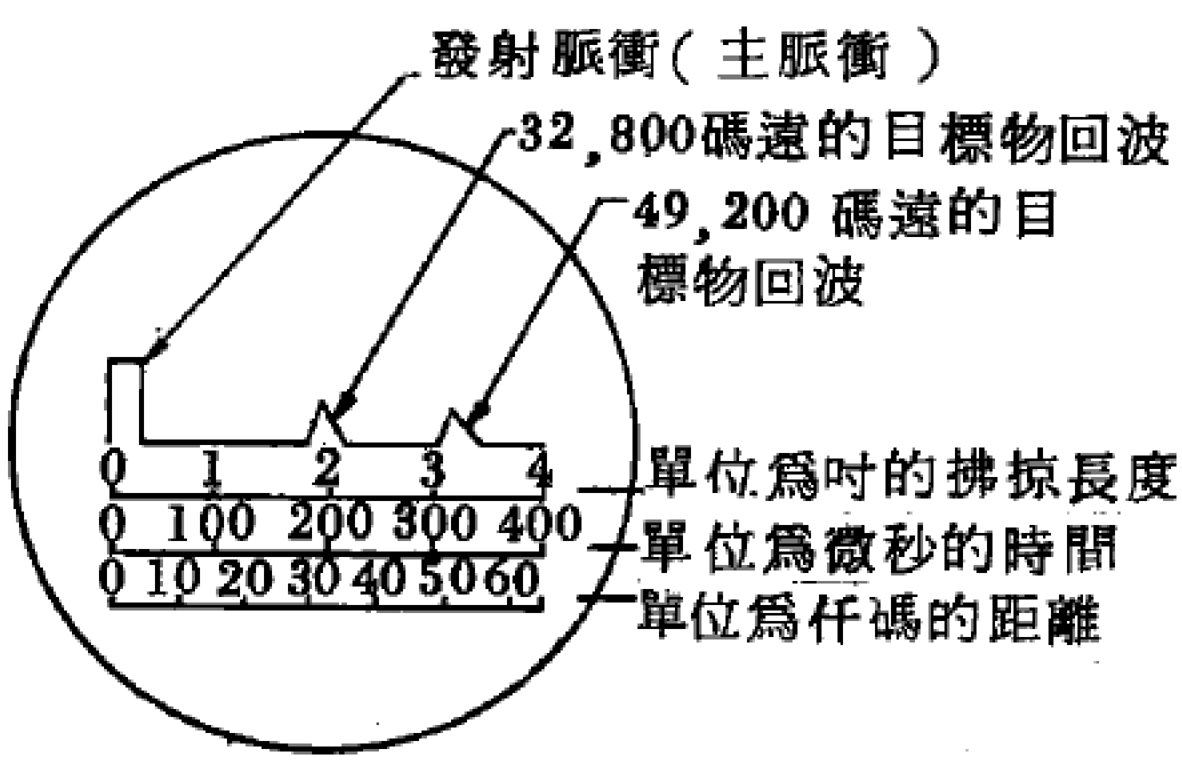


圖 13 — 428
雷達幕上數個目標物的距離指示

圖 13 — 428 爲數個不同距離的目標物，顯示在指示器上的方法。有三個時基（*timebase*

），以時、微秒及仟碼標示，但三者的意義相同，電子束的拂掠速度爲每 100微秒 1 吋。通常僅有碼的時基。

圖 13 — 428 所示雷達幕上並未指示目標物的方向。在同一指示器上可有數種方法，以顯示方位角，最常用的是平面位置指示器（*plan-position indicator*）， 此指示器可藉雷達電波束對其四周空間的拂掠，就可得一大略的情況草圖。

如圖 13 — 429 中，電子束在平面位置指示幕的全部圓形面積內，成輻射線向各方向連續偏轉。圓形幕的中心點，就表示雷達的位置。從中心點到任一輻射線上的一點，都表示目標物的可能距離，所以每一輻射線也都是一個時基，也就是所謂的時間標度。同時每一輻射線對北方（或零度參考線）間的角度，就是目標物對雷達的方位角。爲使所示之方位能夠準確，雷達天線的拂掠必需與指示器電子束的偏轉方向同步，因此在任何時間，指示器所拂掠出的輻射線，都與天線同方向因此使雷達天線轉動的電動機，必需與平面位置指示器相耦合。

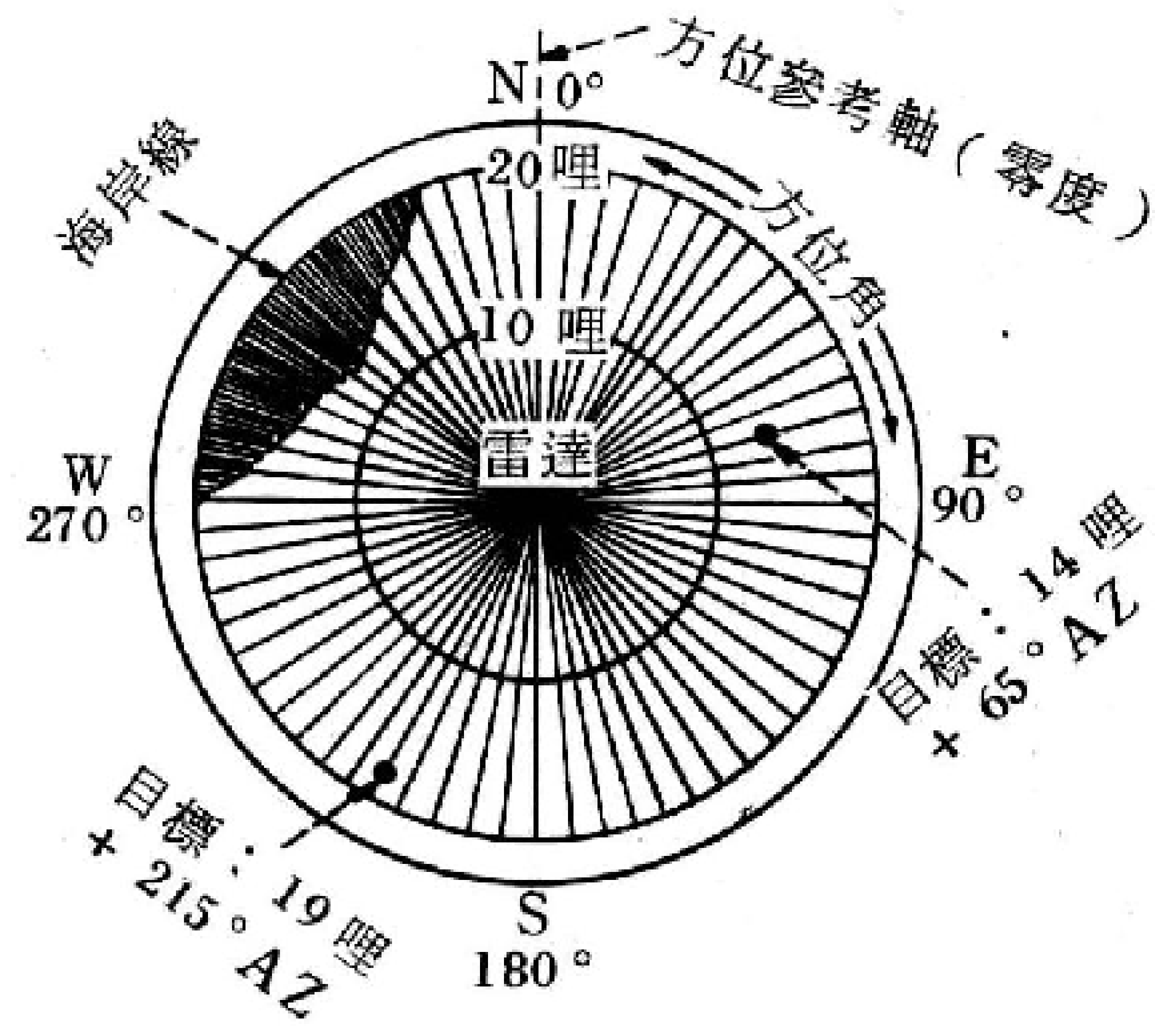


圖 13 — 429　平面位置指示

雷達無論在平時及戰時，都已被廣泛的應用。在二次世界大戰時使用雷達的目的，只是爲了預知敵機的接近。用於預警網（*distant early warning line;D.E.W. line*)的預警雷達，也已大量裝設，預警雷達天線都是極大的轉動拋物體形反射天線，或靜止雙極矩陣天線。靜止偶極行列天線看起來就像一個彈簧床一樣（見圖 13 — 430）。

戰時雷達的應用立刻擴展到地面攔截控制，以及高射砲和探照燈的

方向控制等。這些所謂的射擊控制雷達（*fire control radars*）不僅能察知敵機的所在，並能自動決定高射砲的發射方向及使其發射，關於高射砲及探照燈的控制。都是藉伺服機構（*servo-mechanisms*）所達成。現在大多數軍用飛機都已有此預警及射擊控制雷達的設備了。

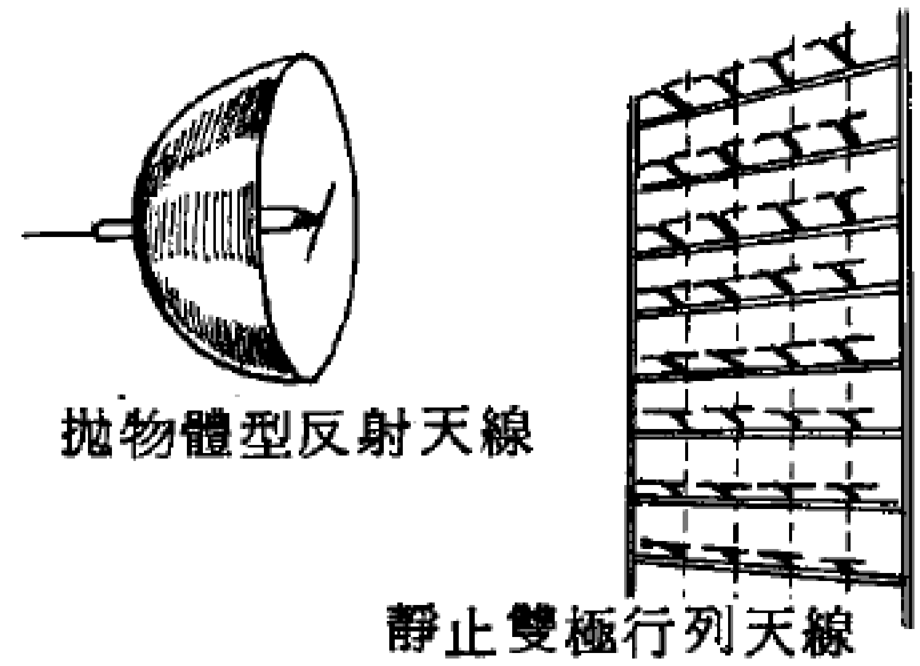


圖 13 — 430
預警雷達所用之拋物體型反射天線及靜止雙極行列天線

由於雷達可度量其與目標物間的距離，當然也可以從飛機上測量距地的垂直高度。常用的各種脈衝式雷達就可度量一架飛機的高度，供飛行員飛行的參考。然而在很低的高度（低於1,000呎），因高度太低，脈衝式雷達的回波有與其發射出的主脈衝合併的趨勢（1微秒的脈衝在指示器的屏幕上佔有相當於984呎的距離）。因此大多數雷達測高儀（*radar altimeters*）都不用脈衝輸出，而用等幅調頻電波。關於測高的情形正如圖 13—431所示。

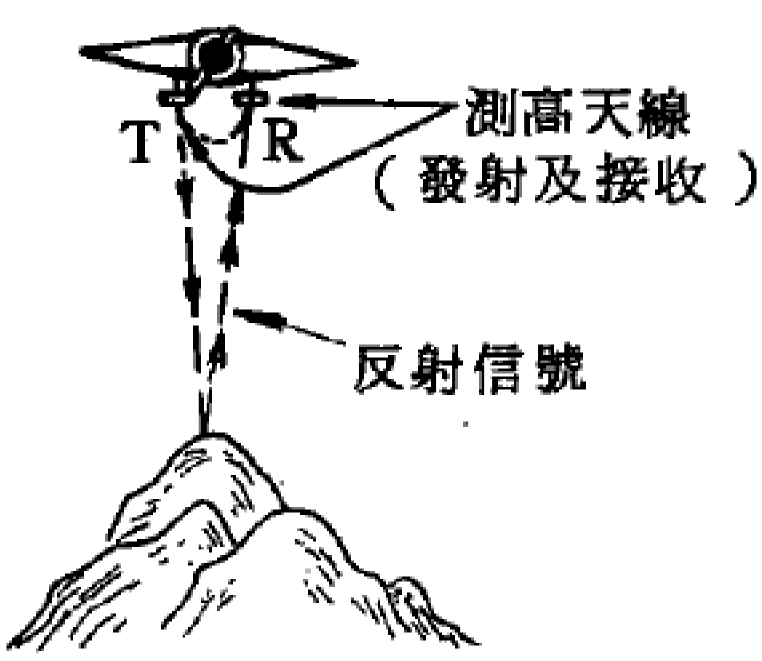


圖 13 — 431
雷達測高儀的原理

雷達測高儀的發射天線，向地送出一垂直無線電波束，而此電波的頻率則連續不斷的變化。當信號離開發射天線的瞬間，其信號的頻率爲某一頻率。然後當信號由地反射回到測高儀的接收天線後，因接收機內有一相位鑑別器（或簡稱爲鑑相器），鑑相器可將接收到的回波，與正要發射出的信號頻率（或相角）作一比較。因爲當回波回到接收天線，已經過了一段時間，當然此時發射天線所發信號的頻率，也已改變。利用已知每秒週數的頻率偏差，就可決定出電波由發射天線到地，再回到接收天線的時間，因此可計算出飛機距地的高度。關於電波往來所需的時間與相應的高度，事先已經算出，並直接標示在指示器上

，所以可直接從指示器上讀出飛機的絕對高度。

雷達除了用在高度的測定外，也可用在飛機及船舶的導航，作爲某一都市、機場、高山或某一特定點的辨別符號用的雷達指標，都已事先標示於航行圖上。

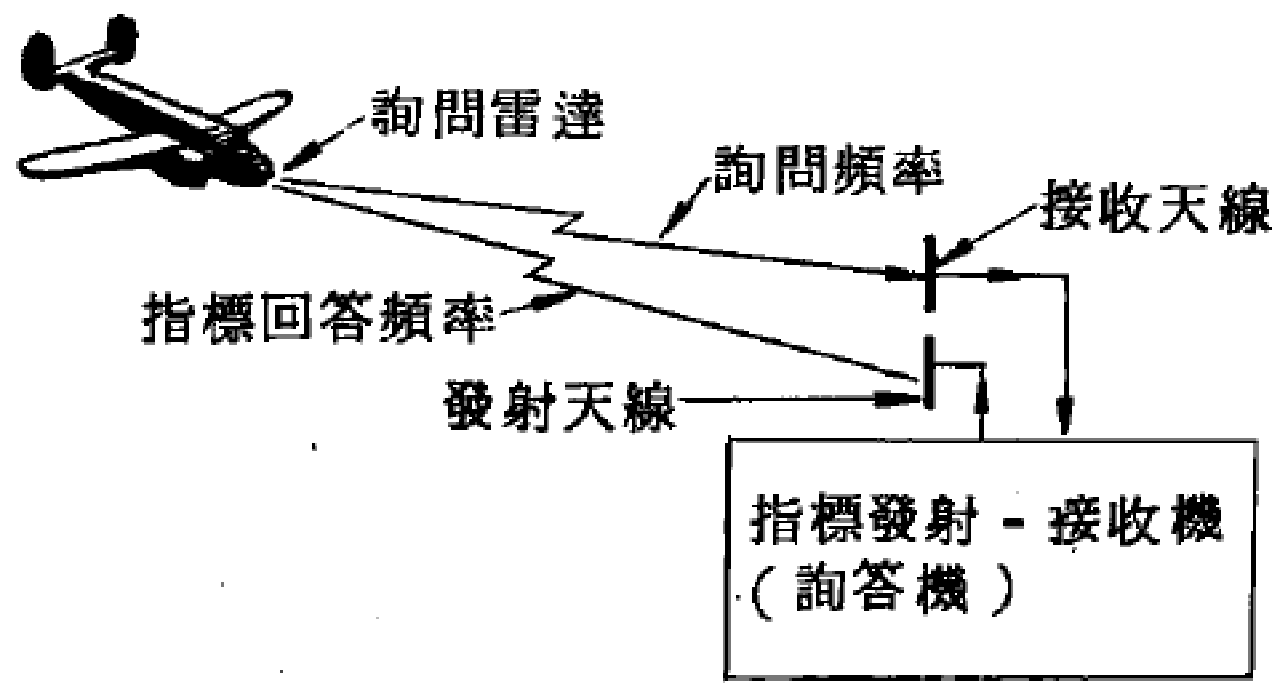


圖 13 — 432　雷達指標的作用原理

圖 13 — 432 的雷達指標，是由一個具有發射機及接收機的雷達構成，發射機及接收機均各有一個天線，此種雷達指標所用的雷達，稱爲詢答機（*transponder*）。指標並不送出脈衝，及接收回波，而是在接收飛機或船舶上雷達所發的脈衝後，給予一個回答。但指標並非對任何雷達信號，都給予一個回應。在飛機或船舶上的詢問雷達（*interrogating radar*）與指標雷達，都裝有電碼電路（*coding circuits*），只有在指標雷達所接收雷達信號的頻率、脈波長度及脈衝間的距離都完全正確時，方能觸發指標雷達，以一特定電碼予以回答，此電碼回答就能使飛機或船舶辨別出是那一個雷達指標所發（由航行圖上就可查出此雷達指標的位置）。由於指標的回答是一個主信號，而非雷達信號的反射回波，所以飛機或船舶上航用雷達的有效距離可以增大。

飛機（或船舶）的領航員，可度量兩個或兩個以上已知位置的指標站與飛機（或船舶）間的距離，就可得到飛機（或船舶）的正確位置。當量得與兩個指標站間的距離後，領航員可在航行圖上以其所量距離的兩指標端爲中心，以所量距離爲半徑畫圓，圓與圓的交點，就是飛機（或船舶）的位置。由於兩圓的交點有二，所以領航員必需自己判斷其位置到底是那一個交點。

如果將指標詢答機放在飛機上，就可正確的辨別出敵機或友機來。

友敵鑑別儀（*identification friend or foe*）的基本原理，與圖13—432所示的常用雷達指標相同。在此情況，地上的雷達送出一個詢問脈衝，此脈衝的頻率、長度等都有一定的形式。因此在友機上的指標雷達，就能被詢問脈衝所觸發，自動向地面雷達站送出一個電碼回答信號，所以可辨別出是一友機。如果是一敵機，因其不知地上雷達的詢問密碼脈衝信號，因此將無適當的回答電碼信號送出。

在惡劣的氣候下，當飛機要著陸而無特殊儀器及設備可資利用時，雷達就可解決此一問題。一個技術優良的技術員可藉地面控制著陸（*ground controlled approach*）雷達，導引飛機降落。在機場的設備，包含有兩套雷達都放在鄰近機場跑道的同一拖車內。其中之一稱爲搜索系統（*search system*），由此雷達可指示出距機場 30 哩以內任何飛機的位置。另一雷達稱爲精測系統（*precision system*），可連續提供飛機與跑道間相關位置的信息。因此飛機就可沿著路必需經過的空間滑翔道（*glide path*）而安全的降落。

雷達正用於氣象觀測。地面雷達可偵察和追蹤雲雨和旋風。由飛機攜帶的雷達可用來研究颶風，並有助於決定它們的強度、速度和移動的方向。

在我們的太空計劃中，雷達的地位也非常重要。特殊的追蹤雷達用來監視太空探測器、高空火箭及人造衞星的飛行。研究在飛行中雷達搜集的資料，科學家們就能明瞭上層大氣及地球周圍的太空的結構及其特性。

雷達的另一用途是用來偵察在公路上開快車的人。你可能見過公路上的標誌牌，上面寫著：雷達控制汽車速度。這表示公路上的交通警察正用特殊的雷達站保護你，以免有受開快車人傷害的危險。雷達站不僅偵察著正駛來的車輛，並且測量著它行駛的速度。如果一輛汽車速度超過安全速度極限，公路的交通警察就駛著自己的車追緝，並給那超速

駕駛人一張傳票或者拘捕他。

此外還可利用雷達來確定行星之位置及自轉速度，雷達觀察的主要原理可以用圖 13— 433 來說明。(1)利用雷達波的時間差（ *time delay* ），可以確定一個圈（ *ring* ）的位置，由於星面是球形的，相同的圓圈上各點與地球距離相等，不同圈則不等（圈子愈小，距離較近，因爲是在較凸出部位）。距離不等，雷達反射波便不會同時回來，而有一個時間差。利用這個時間差，便可決定各圈的相對位置。例如圖 13— 433 中的距離 $AB=\frac{ct}{2}$，c 是光速，t 是雷達波 1 與 2 的時間差。(2)利用都卜勒效應（ *Doppler effect* ），反射波的頻率與二物體間之相對速度有關。行星的趨近邊（ *approaching side* ）反射回來的雷達波比離去邊（ *receding side* ）的頻率高，因此頻率可以確定一個平行自轉軸的細條（ *strip* ）的位置。每一點均爲一圈及一個細條相交所決定，因此利用時間差及頻率的數據，雷達天文學家可以決定反射雷達波的行星表面之位置。行星的自轉速度可以由都卜勒效應的原理推算出來。

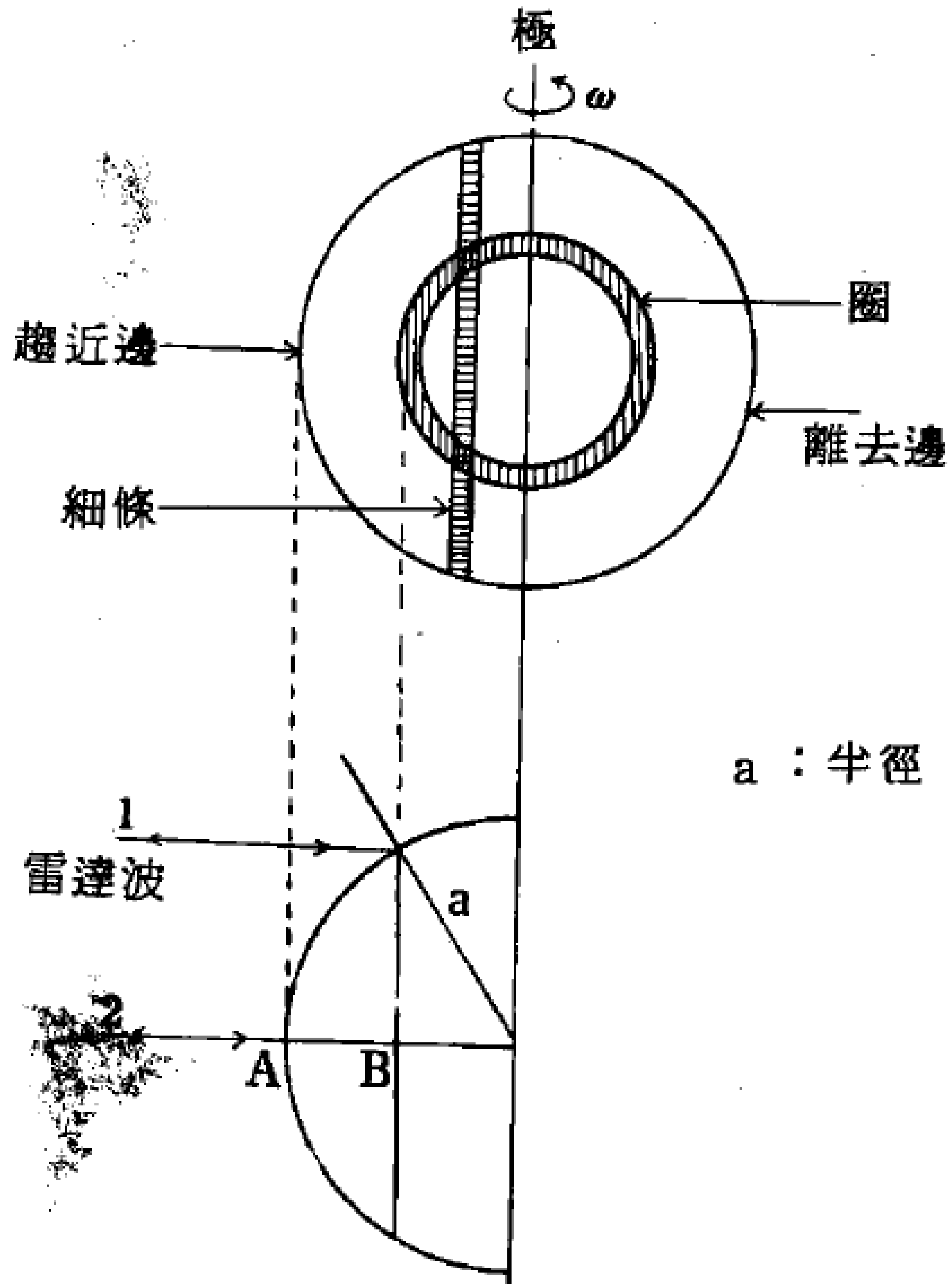


圖 13 — 433
雷達觀察行星表面之原理。圈之位置由時間差決定，細條之位置由頻率決定，上圖是行星表面，下圖是剖面圖。

【雷達追蹤】(Radar trace)

藉雷達機中陰極射線管簾幕顯出之模型，以決定目標物，並且可以繼續追蹤目標物。

【雷維、薛維塔符號】（Levi-Civita symbol）

雷維、薛維塔符號 $\varepsilon_{\alpha\beta\gamma\delta}$ 的定義為：當 α，β，γ 及 δ 四數中，任何二數相同，則其值為零，又任何二數對調則其值變號，且偶順序為正一，奇順序為負一。在計算某二秩張量 $K_{\mu\nu}$ 的行列式 K 時非常方便

$$K = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{vmatrix}$$

則

$$K\varepsilon_{\alpha\beta\gamma\delta} = \varepsilon_{LK\lambda\mu} K_{L\alpha} K_{K\beta} K_{\lambda\gamma} K_{\mu\delta} \quad (1)$$

因 $K_{\mu\nu}$ 為二秩張量，坐標變換律為

$$K_{\mu\nu} = \frac{\partial x'^{\beta} \partial x^{\alpha}}{\partial x^{\mu} \partial x^{\nu}} K'_{\alpha\beta}$$

由此可知行列式 K 與 K' 之間的變換律是

$$K' = \left[J\left(\frac{\partial x}{\partial x'}\right) \right]^2 K \quad (2)$$

式中

$$J\left(\frac{\partial x}{\partial x'}\right) = \begin{vmatrix} \frac{\partial x^1}{\partial x'^1} & \cdots\cdots & \frac{\partial x^1}{\partial x'^4} \\ \cdots & \cdots\cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots\cdots & \cdots \\ \frac{\partial x^4}{\partial x'^1} & \cdots\cdots & \frac{\partial x^4}{\partial x'^4} \end{vmatrix}.$$

由（1）、（2）兩式可以求得 $\varepsilon_{\alpha\beta\gamma\delta}$ 的變換律：

$$\varepsilon_{\alpha\beta\gamma\delta} = \left(J\left(\frac{\partial x}{\partial x'}\right) \right)^{-1} \frac{\partial x^{L}}{\partial x'^{\alpha}} \frac{\partial x^{K}}{\partial x'^{\beta}} \frac{\partial x^{\lambda}}{\partial x'^{\gamma}} \frac{\partial x^{\mu}}{\partial x'^{\delta}} \varepsilon_{LK\lambda\mu}$$

故可知 $\varepsilon_{\alpha\beta\gamma\delta}$ 為四秩張量，其張量密度的比為－1。同樣也可以定義

$\varepsilon \alpha \beta \gamma \delta$ 。

【雷諾】(Osforne Reynolds 1842—1912)

英國工程師及物理學家。1842 年八月二十三日生於北愛爾蘭首府伯爾發斯特 (*Belfast*) 。研究潤滑作用時發明許多應用。研究流體通過管路時發現雷諾數和雷諾速度，即在速度達到某臨界值時流體的特性突然變更。雷諾十八歲時在一機械工程師的店裏工作，不久入劍橋大學修數學和力學，1867 年畢業。不久到曼徹斯特大學〔當時是歐文斯 (*Owens*) 學院〕教授工程學，迄 1905年退休。1912 年二月二十一日逝於窩特科特 (*Watchet*) 。

【雷諾相似定律】(Reynolds' law of similitude)

在邊界形狀相似的兩種流動，若流動的雷諾數相等，則流動場在力學上完全相等。即若將長度和時間的單位適當改變，則兩種流動狀態完全一致，這稱爲雷諾相似定律，但須假定沒有壓縮性的影響。

【雷諾數】(Reynolds' number)

在無壓縮性的流體中，由於密度不變，對任意的面積單元，由壓力所產生的力可被慣性力 (*inertia force*) 及黏滯力 (*viscosity force*) 所造成的平衡單一地決定。如果這三種力分別以 F_P , F_i 及 F_v 表示，而且其他之力容許被忽略，則

$$F_P = F_i - F_v \text{ 或 } \frac{F_P}{F_i} = 1 - \frac{F_v}{F_i}$$

在上面的右式內，F_P / F_i 稱爲壓力係數 (*pressure coefficient*) ，而 F_i / F_v 則稱雷諾數，亦即決定慣性力及黏滯力之比值，這個定義對可壓縮流體來說也可成立。假設以 L 與 v 分別代表流體系統的長度、速度的特性。譬如在導管中，L 表示成形距離，v 爲管內平均速率，慣性力爲質量及加速度之乘積，即其中必定包含這樣的因數

$$F_i \propto \rho L^2 v^2$$

ρ 為流體的密度。黏滯力相當於面積與切應力的乘積，而切應力為黏滯係數乘應變率，即 F_v 中包括這樣的因數

$$F_v \propto s_{ij} L^2 \propto \mu \frac{v}{L} L^2 = \mu v L \quad (\mu \text{為黏滯係數})$$

因此雷諾數的特性可以被表現為

$$R = \frac{F_i}{F_v} \propto \frac{\rho L^2 v^2}{\mu v L} = \frac{\rho L v}{\mu}$$

有時雷諾數就直接定義為 $\frac{\rho L v}{\mu}$。這樣，由於 L，v 等的選擇的不同，而會影響雷諾數的大小，可是並不會差很多。

【雷擊】（ Lightning stroke ）

帶電的雷，若接近地面，地上卽由感應而生異種的電；或雲和地面間達到相當的電壓，均能起激烈的火花放電（ *spark discharge* ），叫做雷擊，又叫落雷。極易危害人畜，毀壞屋宇等。

【雹】（ Hail ）

雨滴在空中落下時，若空氣之溫度在零度以下，則凝為冰球而落下，是為雹。

【零向量】（ Null vector ）

一個向量若大小是零，其方向就完全失去意義。在此情形之下，我們可以不管方向，而稱這種向量為零向量。

【零拍】（ Zero beat ）

某電路其振盪電流如與所接收之信號絕對正確時，當無差音出現，便是零拍。

【零度空間】（ Zero dimensional space ）

點是零度空間，因為根據點的定義，它只有位置而無大小，無法在一個點內定出二個位置來。

【零偏壓】（ Zero bias ）

控制柵與陰極電位相同者。

【零場劈裂】(Zero-field splitting)

有些順磁物質中，由於離子間的靜電作用，離子磁矩間的交互作用或核磁矩之間交互作用影響，在無外加磁場作用的情況下，其自旋能階會有自行劈裂的現象產生。這種現象稱爲零場劈裂。上述這些鄰近離子的作用構成一種不均勻的電場常稱爲晶體場 (*crystal field*)。所以零場劈裂的現象也可以說是順磁離子的基態能階被晶體場分開，而在無外加磁場情況下，分裂開的能階間會有可測射頻 (*radio frequency*) 光譜線發生。這種能階的劈裂相當於物質內部有一個有效磁場 (*effective field*) 存在，所以這種現象常會影響絕熱去磁法冷卻所能得到的最低溫度，使之較無此現象發生時之溫度略高。

【零電平】(Zero level)

比較聲頻或其他信號強度使用之預選電平。

【零電位】(Zero potential)

指參考點的基準電位。

【零電壓】(Zero voltage)

大地之電壓。

【零載損失】(No-load loss)

變壓器次級無加載時，零載電流之有功部分。

【零載電壓】(No-load voltage)

一個電源，在未加入負荷時的電壓值。

【零點】(Ground zero)

垂直於核爆中心點 (此中心點可能在空中或陸地或海的下面) 的陸面或海面上的點。如核爆係在海面上或海面下，以零位面來代替零點更好。

【零點能量】(Zero point energy)

在絕對零度時的能量。根據量子統計力學，任何系統在絕對零度的平衡物態，是這系統能量最低時的量子態。故任何系統的零點能量，即爲該系統的基態能量。

根據量子理論，同時考慮一個系統的動能與位能的值是無意義的。但當在某一特定的物態下，單獨考慮每一種形式的能量之平均值時就有意義。以下是在基態的情況下，討論四種簡單系統的零點能量。

第一種系統：質量爲m的粒子，不受外力的作用時，在邊長爲a、b、c的方形盒內運動。則此系統的基態動能爲

$$(a^{-2}+b^{-2}+c^{-2})h^2/8m$$

式中h爲蒲朗克常數。此系統的位能爲常數，可以任意賦予一特殊值。若定位能值爲零，則此系統的零點能量爲此系統的基態動能。

第二種系統：一可以繞質量中心（固定於空間）自由轉動的剛體，則此系統的基態動能等於零。位能與此剛體在空間的方向無關，故位能可以隨意給予一定值。若定位能爲零，則此系統的零點能量等於零。

第三種系統：質量爲m的諧振體，以$x=0$爲中心，在x方向做諧和振動。振體在x處的位能U與其質量m及其特性頻率ν的關係爲

$$U=U^0+2\pi^2 m\nu^2 x^2$$

式中U^0表示在$x=0$時的U值。在基態的平均動能爲$h\nu/4$，平均位能爲$U^0+h\nu/4$，故在基態總能量的平均值爲

$$U^0+\frac{1}{2}h\nu$$

若將U^0定爲零，則零點的平均能量變成$\frac{1}{2}h\nu$。

從以上三例，似乎將系統的最低位能定爲零是很合理的，其實，並不盡然。第四例考慮兩個分別帶有e_1及$-e_2$電荷的粒子m_1及m_2。兩粒子相距r，最小能量在$r=0$處。若在此處時定位能爲零，則在$r\rightarrow\infty$處的位能將爲無限大。故此系統習慣上反而將$r\rightarrow\infty$處的位能定爲零

。因此，零點能量爲

$$-2\pi^2 m_1 m_2 e_1^2 e_2^2/(m_1+m_2)r^2$$

由上述幾個例子，可知零點能量之爲零、爲正或爲負值，與系統的本質有關。實際應用上，常將零點能量用於諧振體，而其最小位能通常定爲零。

【零點振動】(Zero point vibration)

以現代的觀點看來，即使在最低溫度下，金屬或任何固體中的原子仍有一些振動存在，稱爲原子的零點振動。由於固體中的原子及其振動方式如此之多，故每一量子之能量雖極微弱，但總能量卻是不容忽略的。

【零點電容】(Zero capacity)

即起點的電容量。

【零點調節器】(Zero adjuster)

歐姆表在試測前，應將調節器調變到指針指向零歐處。

【預期值】(Expectation value)

以統計觀點來看，一物理系統在$\vec{r}$處出現的機率爲$|\phi(\vec{r},t)|^2$。因此，對某一種物理量，量子力學所能預測到的僅是統計結果，亦就是在很多次同樣的量度，所得的平均值應爲若干，稱此值爲預期值。顯然地，以物理量$\vec{r}$位置向量爲例，其平均值應爲

$$\langle\vec{r}\rangle=\int d^3r\phi^*(\vec{r},t)\vec{r}\phi(\vec{r},t)$$

同樣，以動量$\vec{p}$爲例，其平均值在動量空間中，應爲

$$\langle\vec{p}\rangle=\int d^3p\phi^*(\vec{p},t)\vec{p}\phi(\vec{p},t)$$

以傅氏變換將$\phi(\vec{p},t)$變換爲$\phi(\vec{r},t)$，則上式可寫爲

$$\langle\vec{p}\rangle=\int d^3r\phi^*(\vec{r},t)(-i\hbar\nabla)\phi(\vec{r},t)$$
$$=\int d^3r\phi^*(\vec{r},t)\vec{p}_{op}\phi(\vec{r},t)$$

式中$\vec{p}_{op}$表示位置表象法的動量算符。

重複上面的方法，可以定義任一可量度的物理量，其算符如用Ω表示，則此物理系統在$\psi(\vec{r}, t)$狀態時，其預期值爲

$$\langle \Omega \rangle = \int d^3 r \psi^*(\vec{r}, t) \Omega \psi(\vec{r}, t)$$

在特殊例子時，如$\psi(\vec{r}, t) = \nu_\mu(\vec{r})$，且

$$\Omega \nu_\mu = \omega_\mu \nu_\mu \qquad \mu = 1, 2, 3 \cdots\cdots$$

則

$$\langle \Omega \rangle = \int d^3 r \nu_\mu^*(\vec{r}) \Omega \nu_\mu(\vec{r})$$
$$= \omega_\mu \int d^3 r \nu_\mu^*(\vec{r}) \nu_\mu(\vec{r})$$
$$= \omega_\mu$$

所以此物理量的預期值爲其本徵值ω_μ。因爲此值必爲實驗上能夠量取的，所以ω_μ必須爲實數，亦即表示Ω必須是厄米特算符。

【頑磁（感應強度）】（Remanence）

任何鐵磁物質都有磁滯現象（*magnetic hysteresis*），即是一鐵磁物質，當外加磁場使其磁化，然後除去所加磁場時，此物質的磁感應強度並不消失，而達到一個有限數值，此數值即稱爲頑磁。

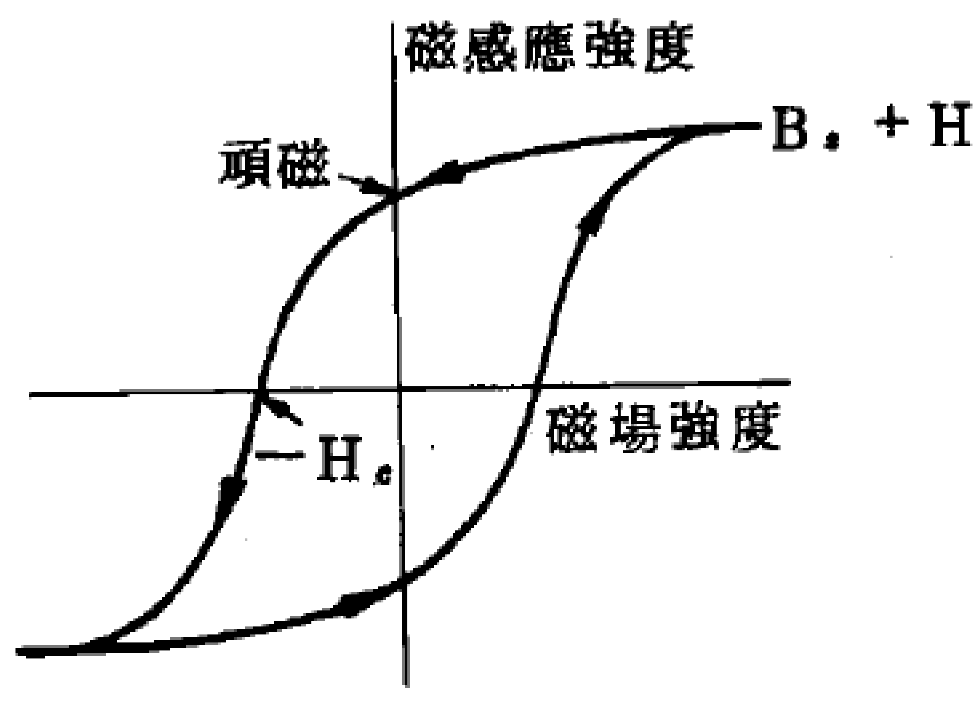


圖 13 — 434

【頑磁性】（Retentivity）

如鋼較難磁化，但經磁化後又不易消失其磁性，此種性質，稱爲頑磁性。

【鼓震現象】（Flutter）

電視接收機的圖像有忽隱忽現的鼓震現象，產生此現象的原因多是來自射頻或中頻放大級，例如自動增益控制電路，其電容器開路或失效所引起電壓發生連續的跳動，或視信中放大級有振盪現象所造成。

十 四 畫

【像力】(Image force)

謂由電荷之像電荷所產生的力。

【像比】(Image ratio)

畫像與信號強度的比值，用以表明接收機之選擇度者。

【像元件】(Picture element)

電視像之最小部分。

【像扭】(Image twist)

係放大率隨物與主軸間距離之不同而略有差異，使像不能按一定比例放大，而造成失眞之變形像。

【像差】(Aberration)

光學系統不能將一點之物形成一點之像，線形之物形成線形之像，或一角成相等之角。像差有球面像差(*spherical aberration*)、像散現象(*astigmatism*)、彗形像差(*coma*)、像場彎曲 (*curvature of image field*)、畸變(*distortion*)及色像差(*chromatic aberration*)等五種。

【像差彎曲】(Curvature of aberration)

凡物體上與透鏡軸線垂直之直線，其像常作曲線狀，謂之像差彎曲。

【像距】(Image distance)

鏡頂與像點間之距離。

【像散性】(Astigmatism)

這是球面透鏡的一種像差，凡非位在透鏡軸線上一點之物，其像常非一點而作兩個正交之直線是爲像散性，有時像散性亦稱像散現象。眼睛上若有此一缺陷，即稱爲亂視。

【像散差】(Astigmatic difference)

在像散系統中第一級與第二級焦距的差。

【像散眼】(Astigmatic eye)

對各方對稱的物體無法覺察，此乃因角膜各截面的曲率半徑不等之緣故。其補救方法爲戴用柱形透鏡 (*cylindrical lens*)。

【像散透鏡】(Astigmatic lenses)

詳閱"凹透鏡 (*Concave lens*)"條。

【像焦距】(Image focal length)

像焦點與球面之距離稱爲像焦距。

【像焦點】(Image focus)

當入射線平行於主軸，亦即物距球面甚遠 ($p=\infty$) 時，折射線通過主軸上一點，該點稱爲像焦點或第二焦點 (*second focal point*)。

【像電荷】(Image charge)

詳閱"源像法 (*Method of image*)"條。

【像微點】(Detail)

造像部分能互相分辨之最小微點。

【像頻】(Video frequency;Image frequency)

這是從極低頻率直到數個兆赫的寬頻譜，這種頻譜在發射持續時間約爲 1 微秒 (10^{-6} 秒) 的短脈衝(像頻脈衝)時是必要的。其所以叫做像頻，是因爲發射短脈衝的必要性最先是在電視中出現的。

像頻又稱鏡像頻率或假像頻率。在超外差式接收機中，與本機振盪器頻率相差一個中頻，且位於本機振盪器頻率另一方 (對接收機調諧頻率而言) 的頻率。換句話說，以本機振盪器頻率爲準，像頻的位置是與調諧頻率的位置相對稱。因爲超外差式接收機在變頻時所獲得的中頻等於輸入頻率與本機振盪頻率的差值，而與其中那一個大些無關，所以像頻在混頻器內也能得出接收機的中頻。

舉例來說，如果超外差式接收機的中頻等於400 *KHz* ，且調諧到1,500*KHz*的頻率，而本機振盪器的頻率在這個調諧時等於1,100*KHz*，則像頻便等於700*KHz*。倘若有一個頻率爲700*KHz*的干擾電臺信號加入到混頻器，則其送出的中頻同樣等於400*KHz*，它和所接收電臺信號同樣地被中頻放大器所放大。這條干擾信號進入的道路叫做像頻通路。由此可見超外差式接收機中頻部分對像頻沒有選擇性，因此在這個頻率上將會比其他頻率要受到更大的干擾。爲了消除這種像干擾，在超外差式接收機內常採用預選的辦法。

【像頻放大】(Video frequency amplification)

將影像信號電壓幅度擴大。

【像點】(Picture dot)

彩色電視圖像的基點。

【圖片傳眞機】(Telephote)

此種機器能將文字、圖片之原形傳至遠地，如現今使用之傳眞電報等。

【圖示法靜力學】(Graphical statics)

利用圖形解決靜力學的問題。例如求軸的形變(*deformation*)、各斷面所受的應力 (*stress*)、力矩 (*momentum*) 、轉矩 (*torsion momentum*) 等常用之。

【圖形】(Figure;Graph)

將實驗、調查、統計或其他方法所得之數據，爲了便利閱覽而繪製之圖。

【圖解】(Graph)

利用圖形解答問題。

【圖微分法】(Graphical differentiation)

由圖形的斜率而計算微分。

【圖像震動】(Picture running)

視頻相應曲線某點因高頻過度或別種原因而突起，視頻放大電路對此將發生輕微振盪，結果在銀幕上產生一種間隔均勻強度漸弱的局部重複影像。

【圖積分法】(Graphical integration)

由圖形底下的面積求積分。

【塵埃】(Dust)

塵埃可分爲二種，大的肉眼可以看見的叫做灰塵；小的肉眼看不見的叫做微塵。微塵能夠替天空佈置蔚藍的背景，點綴那綺麗的彩霞。微塵好像鏡子，能夠反射光線，波長較短的藍光最容易被微塵反射，故天空呈藍色。

【塵埃質點】(Dust particle)

各種的荷電質點和塵埃質點同具一種顯著的特性：它們成爲氣體內所含濕氣的凝聚中心，或可說是水分子的聚集中心。第一次度量電子所荷電量卽利用此現象。

正常狀態的空氣或其他氣體，在一定溫度下含水蒸氣量有一最大值，這時謂之飽和 (*saturation*)。不論以何種方法使其所含濕氣增加，或使空氣變冷，其所含蒸氣必較通常所能含的爲多。

這些超過的部分，是以小水滴的形式形成露狀出現，但是如果沒有可以發生凝聚的中心，空氣雖然有較飽和爲多的濕氣——過飽和，仍是非常淸澈。如果有塵埃質點、荷電原子或自由電子存在其中，每一個都能成爲一滴小水珠的聚集點，因而形成霧。我們說這些質點是凝聚的核心，但是切勿將此處所用的字和原子的核相混淆。大氣中的塵埃和大氣的上層受紫外光照射而生的離子都是影響下雨的重要因素。

【境界面】(Boundary surface)

密度不同的兩種介質之相接面，又名介面。

【墊】(Pad)

指振盪器的LC電路中的墊整電容器。

【墊整電容器】(Padding capacitor；Padder)

超外差機振盪電路與調諧電路串接的電容器。調諧電路加入墊整電容後，對總電容量會減低，減低的百分率以最大容量時爲最大，對調諧頻段來說，影響低端較多。

【壽命】(Lifetime)

1.平均壽命(*mean lifetime*)——一原子或其他系統，存在於某種特殊狀態的平均時間。例如：(1)π介子在衰變之前的平均壽命。(2)受激發的原子或原子核，在失去激發能之前的平均壽命。(3)對於一放射性核，其平均壽命等於衰變常數(*decay constant*)λ的倒數，如以分支衰變(*branching decay*)而論，則壽命τ爲：

$$\tau=\frac{1}{\lambda}=\frac{1}{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\cdots}$$

式中$\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3,\cdots$爲所包含各種方式的部分衰變常數。(4)一熱中子的平均壽命是中子變成熱中子(*thermal neutron*)至其被吸收或從反應器中消失的平均時間。(5)當過剩的電荷載體進入半導體內，最終仍會與符號相反的其他電荷載體重新結合，其平均壽命較長。

2.半衰期(*half-life time*)——放射性物質樣品中，半數原子發生衰變所需的時間，與衰變常數λ平均壽命τ三者之間的關係爲：

$$t_{1/2}=\frac{ln2}{\lambda}=\frac{0.693}{\lambda}=0.693\tau$$

式中$t_{1/2}$即爲半衰期。

【實用單位】(Practical unit)

將C.G.S.電磁單位乘以適當的倍數(通常含有10的適當冪次)而得的單位，如電動勢或電位差的單位伏特(*volt*)、電流的實用單

位安培（ *ampere* ）、電容的單位法拉（ *farad* ）等。它們也可被定爲 *M.K.S.A.* 單位中的基本單位。

【實焦點】（ Real focus ）

平行於透鏡主軸的光線穿射鏡片後，光線經折射而會聚於一點，此點稱實焦點。若光線折射後不聚於一點，經延長而會聚之點稱虛焦點。凸透鏡之焦點係實焦點。

【實像】（ Real image ）

物體所發出的光，透過光學系統後實際光線會聚而成的像。最常見實像之例即可由照相機照相底片或幕屏上看到，由攝影機底片所得的像是標準的實像。

參閱“倒像（ *Inverted image* ）”條。

【實際氣體】（ Real gas ）

實際氣體即不加理想化之氣體。實際氣體的性質與理想氣體稍有差異，故計算時需加改正因數。

【實驗】（ Experiment ）

爲了證明某種定理、定律、假設及各種事實眞相所做的活動。

【實驗反應器】（ Experimental reactor ）

用來試驗新反應器之設計所用的反應器。

【實驗室用望遠鏡】（ Laboratory telescope ）

望遠鏡與尺配合使用，應用鏡面小偏角可做微小量如光槓桿、彈性係數、楊氏係數、膨脹、微小電流等的測定。

其構造有水平調節螺絲的固定架上裝望遠鏡與尺的裝置（如圖 14－1）。望遠鏡裝在固定架，可上下左右方向移動，同時也可做方向的微細調整。倍

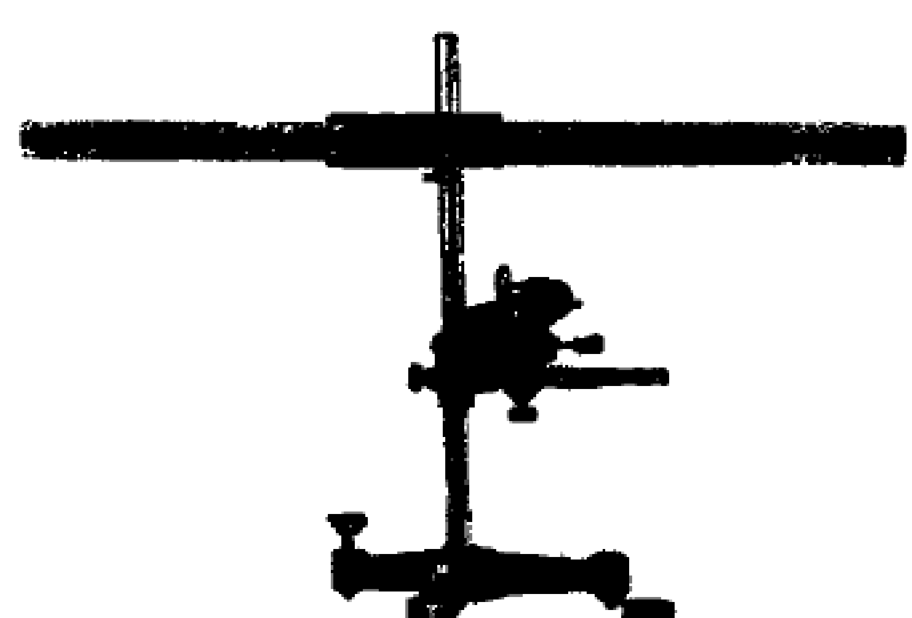


圖14－1

率普通都爲十幾倍，尺長普通約爲80厘米。其原理如圖14—2在鏡前方裝望遠鏡。設尺與鏡間距離爲D，鏡轉動角爲α，則反射光有2α的轉動角。設此時尺上所移動的分劃爲$s_0 \sim s_1$，則

$$\tan 2\alpha = \frac{\overline{s_0 s_1}}{D}$$

如α角小，可視爲$\tan \alpha \approx \alpha$故得

$$\alpha = \frac{\overline{s_0 s_1}}{2D}$$

如使用普通角度單位表示，則

$$A = \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{\overline{s_0 s_1}}{2D}$$

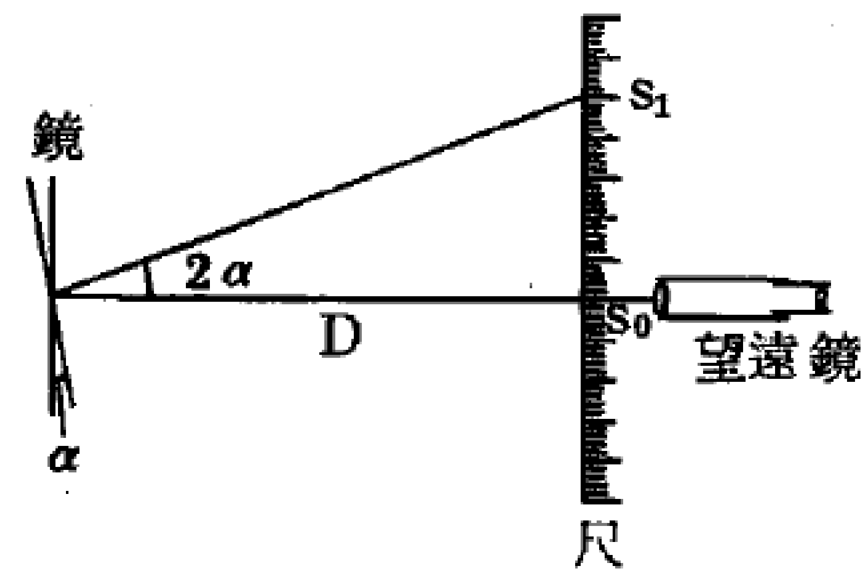


圖 14—2

因此定尺與鏡間距離，測定所移動的分劃數$s_0 \sim s_1$，即可求鏡的轉動角。

【實驗室坐標系】(Laboratory coordinate system)

實驗室坐標爲固定於空間的坐標系，通常以不反衝的靶爲準。因此在此系統中的角度爲實驗進行時所實際量度的角度，是實驗的原始資料所依據者。在數學分析時，常用到質量中心坐標系，這是以入射粒子和靶的粒子的質量中心爲坐標系。以θ_0表實驗室坐標系所量得的角度，θ表質量中心坐標系量得的角度，則簡單的計算可得如下的關係：

$$\tan\theta_0 = \frac{\sin\theta}{\cos\theta + m_1/m_2}$$

式中m_1爲入射粒子的質量，m_2爲靶粒子的質量。由上式可知道$m_2 \gg m_1$時，$\theta_0 \approx \theta$，此時兩種坐標系的角度θ極爲相近。

【實驗室參考系】(Laboratory frame of reference)

由一個以等速運動的電荷施於另一個靜止的電荷的力我們可以求出。但也許要問，一個電荷在另一些電荷所產生的場內運動時所受到的力

爲何？我們只考慮一個電荷在另一些靜止的電荷所產生的電場內運動之情形，這也就是說，我們首先要研究靜電場施於一個運動中的電荷的力，而產生這一靜電場的電荷所處的參考系即爲實驗室參考系。

【實驗誤差】（Experimental error）

在實驗過程中，用任何精密的儀器與作任何細心的測驗，所得測驗值總難免有若干誤差。但由於數次反覆實驗之結果，取其平均值（*mean value*）可得較近於正確之數值。若在同一條件下做同一實驗時，可取其算術平均值（*arithmetic mean value*），或幾何平均值（*geometric mean value*），以減少其誤差。假定在同一條件下做 n 次同一實驗所得之測驗值爲 $a_1, a_2, a_3, \cdots\cdots a_n$，則其算術平均值 Ma 及幾何平均值 Mg 各爲：

$$Ma = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \cdots\cdots + a_n}{n}$$

$$Mg = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \cdots\cdots + a_n^2}{n}}$$

假定每次實驗的偏差（*deviation*）各爲 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \cdots\cdots \alpha_n$，若以算術平均值爲例，則 $\alpha_1 = a_1 - Ma$，$\alpha_2 = a_2 - Ma$，$\alpha_3 = a_3 - Ma, \cdots\cdots$，$\alpha_i = a_i - Ma$，$\cdots\cdots$。偏差是每次實驗值與平均值的差，並不是眞正的誤差，依據或然率理論的結論，做 n 次實驗時，每次實驗所可能發生的平均誤差（*mean error*）α 爲：

$$\pm\alpha = \pm\sqrt{\frac{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 \cdots\cdots + \alpha_n^2}{n-1}}$$

由上述方法所求得之算術平均值或幾何平均值，僅是比較近於正確結果之數值。即它與眞正數值間尚有誤差之存在，此誤差稱爲平均值的平均誤差（*mean error of mean values*）。可用下式表示之：

$$\pm\sqrt{\frac{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \cdots\cdots + \alpha_n^2}{n(n-1)}}$$

誤差又可由下式考慮之：

$$Ma \pm \varepsilon \qquad (1)$$

ε 爲眞正數值之存在範圍，(1)式當實驗次數愈多，愈接近眞正之值。但若用有限實驗次數所測得之數值時，則其在$Ma+\varepsilon$與$Ma-\varepsilon$間之可能率，及其在此範圍外之可能率並非$\frac{1}{2}$。不過近來由於統計學之發達，可能由有限次數之測定值，推測出做無限次數測定時之結果。根據統計學得知眞正數值之存在範圍 ε 爲：

$$\varepsilon = t \cdot \sqrt{\frac{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \cdots\cdots + \alpha_n^2}{n(n-1)}} \qquad (2)$$

(2)式中之 t 爲測定次數 n 及危險率 P 之函數，危險率 P 即爲眞正數值不在上述之範圍內之百分率，於是公算誤差之危險率爲 50%。玆列示 t 之分佈表如下頁所示。

【實驗與研究反應器】(Experiment and research reactor)

這一類反應器專作產生中子的來源，設計目的計有：供研究發展工作之用；作爲訓練人員操作原子設施之用；作爲試驗材料，以爲將來反應器設計之用；推陳出新，改進反應器的設計；以及產生對工業和醫藥具有重要性的同位素(*isotope*)。

對此型反應器的分類，有以燃料的種類、冷卻劑或所用的緩速劑等其他方法來表示。例如蓋爾得・荷爾式反應器，屬於氣體冷卻石墨緩和(*gas-cooled graphite-moderated;G.C.G.M.*)式。此外還有以下幾種類型在英國已漸具重要性：

1. 調壓水反應器(*pressurized water reactor; P.W.R.*)。
2. 沸水反應器(*boiling water reactor; B.W.R.*)。
3. 鈉石墨反應器(*sodium graphite reactor; S.G.R.*)。
4. 快速滋生反應器(*fast breeder reactor*)。
5. 均態水反應器(*homogeneous aqueous reactor; H.A.R.*)。
6. 液態金屬燃料反應器(*liquid metal fuelled reactor; L.*

t 分佈表

n-q \ P	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.0[illegible]	0.001
1	0.158	0.325	0.510	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	1.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.142	0.289	0.445	0.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.137	0.277	0.424	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.134	0.271	0.414	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.132	0.267	0.408	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.131	0.265	0.404	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.130	0.263	0.402	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.130	0.262	0.399	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.129	0.261	0.398	0.543	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.129	0.260	0.397	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.589
11	0.129	0.260	0.396	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.128	0.259	0.395	0.539	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.128	0.259	0.394	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.128	0.258	0.393	0.537	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.128	0.258	0.393	0.536	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.128	0.258	0.392	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.128	0.257	0.392	0.534	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.127	0.257	0.392	0.534	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.879	3.922
19	0.127	0.257	0.391	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.127	0.257	0.391	0.533	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	0.127	0.257	0.391	0.532	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	0.127	0.256	0.390	0.532	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.127	0.256	0.390	0.532	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	0.127	0.256	0.390	0.531	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.127	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.127	0.256	0.389	0.531	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.767	3.674
29	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.127	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.640
40	0.126	0.255	0.388	0.529	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.126	0.254	0.387	0.527	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	0.126	0.254	0.386	0.526	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.773
∞	0.126	0.253	0.385	0.524	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

M.F.R.）。

7.高溫氣體冷卻反應器（*high temperature gas cooled reactor*；*H.T.G.C.R.*）。

8.有機液體緩和反應器（*organic liquid moderated reactor*；*O.L.M.R.*）。

9.氣體冷卻重水緩和反應器（*gas cooled heavy water moderated reactor*；*G.C.H.W.M.R.*）。

【實體映像】（Stereopsis）

利用儀器使平面影像映出立體感之影像。

【實體鏡】（Stereoscope）

利用物體對雙目光角不同，使像片顯示立體感之器械，稱爲實體鏡。

以一眼看立體物時，右眼所見之部分，與左眼所見之部分不同，以兩眼同時看時，兩眼所見之不同部分，同時印像於神經上使起感覺，由是可知其物體爲立體與否，實體鏡爲可證明此理之儀器。其構造如圖 14—3 所示，以一凸透鏡從中央截爲 mn 兩半，嵌於框上，m 置右眼前，n 置左眼前，而以右眼觀物體時，所照之像置於右眼前鏡 m 外 A 處，左眼觀物體時，所照之像置於左眼前鏡 n 外 A' 處，隔鏡 mn 觀之，則發自 A 而取 AE 方向之光線，右眼見之如在 EC 之方向，發自 A' 而取 $A'E'$ 方向之光線，左眼見之如在 $E'C$ 之方向，此二感覺相接合，則見二像片相合，而成一立體之實物在 C 處。

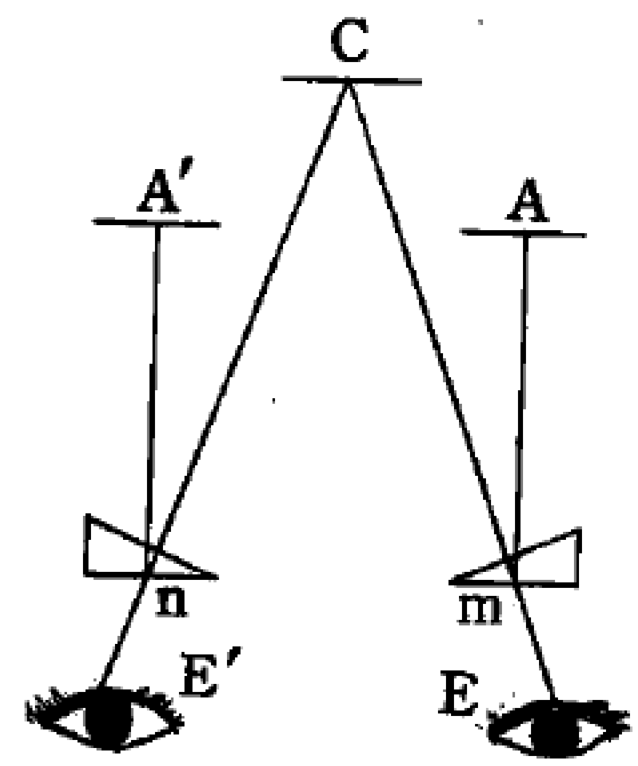


圖 14—3

【對日照】（Counterglow）

夜中沿著黃道在太陽的正反對方向，有極稀薄的光，叫做對日照，這和黃道光的性質相同，是 1854年布羅孫（*Brorsen*）所發現，它的直

徑約爲十度。

【對比】(Contrast)

畫面最高亮度與最低亮度之比值。

【對比物態方程式】(Reduced equation of state)

物態方程式中，將壓力p與臨界壓力(*critical pressure*) p_c之比$\pi = p/p_c$，體積v與臨界體積(*critical volume*) v_c之比$\nu = v/v_c$，溫度T與臨界溫度(*critical temperature*) T_c之比$\Theta = T/T_c$，分別代入p、v、T而得到的方程式，稱爲對比物態方程式。π、ν、Θ分別稱爲對比壓力(*reduced pressure*)、對比體積(*reduced volume*)和對比溫度(*reduced temperature*)。在不同的物質中，π、ν、Θ相同的狀態稱爲對比(物)態。

【對比控制器】(Contrast controller)

此控制器在電視接收機中控制畫像管之增益，直接影響畫面之亮度及對像。其形式爲一電位器，用以調節者爲射頻及中頻放大器。

【對心撞與斜撞】(Central and oblique impact)

二物體相撞，接觸點的法線稱爲碰撞線(*line of impact*)，當該二物體的質心均在碰撞線上時，所發生的碰撞事件稱爲對心撞。

若該二物體的速度方向與碰撞線一致，稱爲正向碰撞(*direct impact*)；否則即爲斜撞。

【對光視力】(Photopic)

詳閱"眼睛(*Eye*)"條。

【對角矩陣】(Diagonal matrix)

一n階正方矩陣，除了對角線上的元素以外，其餘元素均爲0，稱之爲對角矩陣。

【對流】(Convection)

像空氣或水一類的液體，當一部分加熱時，那部分便膨脹而變輕然

後上升，周圍那冷而重的氣體或液體便流過來，這種現象就叫做對流。由對流而移動的熱，叫做對流的熱移動。像氣體或液體這些容易活動的東西，是由對流而傳熱。

【對流流】(Convection current)

不論氣體或液體產生對流時，因流速不同而產生像洋流的現象稱爲對流流。

【對流層】(Troposphere)

地表面起至約12公里爲對流層的範圍。每升高100m，氣溫即以0.5～0.6°C的比例降低。由於含有水蒸氣，空氣又上下移動，所以雲雨等氣象現象，會起於對流圈之中。

參閱“大氣層(*Atmosphere*)”條。

【對流層頂】(Tropopause)

在離開地表數萬呎高的地方(即在中緯度與極區爲三萬到四萬呎，回歸線地方爲五萬到六萬呎)，有一個對流層頂，那兒的氣溫不隨高度增加而下降，反因高度增加而上升，或者保持常溫狀態。

【對偶空間】(Dual space)

對偶空間是對某一向量空間，依下述所定義的另一向量空間：設f爲向量空間的一元素，而$\phi(f)$滿足下列二關係的一函數：

1. $\phi(f+g)=\phi(f)+\phi(g)$
2. $\phi(\lambda f)=\lambda\phi(f)$

式中f, g爲向量空間的元素，則$\phi(f)$構成新的向量空間，稱爲某已知向量空間的對偶空間。例如，令$\phi_h(f)=(h, f)$表示h與f的純量積。設h爲一定向量，f爲已知向量空間內任一向量，則

1. $(h, f+g)=(h, f)+(h, g)$
2. $(h, \lambda f)=\lambda(h, f)$

所以此$\phi_h(f)$構成對偶空間。以狄悅克(*Dirac*)的記號，若$|\alpha>$

構成向量空間，則厄米特共軛（*Hermite conjugate*）$\langle\alpha|$為對偶空間。

又設$\phi_{h1}(f)=(h_1,f)$為一對偶空間，$\phi_{h2}(h_2,f)$為另一對偶空間，則

$$(\lambda_1 h_1+\lambda_2 h_2,f)=\lambda_1^*(h_1,f)+\lambda_2^*(h_2,f)$$

所以在向量空間和對偶空間有不同的線性關係，在向量空間其線性關係為：

$$\overrightarrow{\lambda f}=\lambda\vec{f}$$
$$\overrightarrow{\lambda_1 f_1+\lambda_2 f_2}=\lambda_1\vec{f_1}+\lambda_2\vec{f_2}$$

而在對偶空間則為

$$\overrightarrow{\lambda\phi}=\lambda^*\vec{\phi}$$
$$\overrightarrow{\lambda_1\phi_1+\lambda_2\phi_2}=\lambda_1^*\vec{\phi_1}+\lambda_2^*\vec{\phi_2}$$

即反線性關係。因此向量空間和對偶空間的性質不盡相同。

【對等原理】（Correspondence principle）

在高量子數狀況下，古典理論與量子理論相合。

【對稱中心】（Center of symmetry）

平面或空間上之一點，對於此點圖形或物體具對稱性者。

【對稱元素】（Symmetry elements）

各對稱的基本單位，稱對稱元素。

【對稱平面】（Plane of symmetry）

空間上的一個平面，在此平面之兩邊，物體相互對稱者。

【對稱陀螺分子】（Symmetric top molecules）

三主慣性矩（*principal moments of inertia*）均不為零，但其中二主慣性矩相等的分子。

【對稱張量】（Symmetric tensor）

張量的分量適合$A^{ij}=A^{ji}$者，稱為對稱張量。

【對稱透鏡】(Symmetry lens)

透鏡系統依一中央快門作對稱安排，若物標及物像距離相等便可自動校正畸變現象。如此之一透鏡亦可自動消除彗形像差(*comatic aberration*)及橫的色像差(*lateral chromatic aberration*)。

雖然此等像差之校正僅對單位放大率爲正確，即使物標及物像之距離不同，此等像差亦大多減縮在軸的色像差中，球面像差、色消差及視場曲率用此"對稱原理"亦不能獲得助益，雖然如此，但事實上畸變及彗形像差能夠減少，仍是此原理的最大用途。

圖 14—4 示明此型透鏡之早期型式，乃由兩塊相同玻璃凸凹型透鏡互以其凹面朝向光闌。後者必須在鏡徑上作極大減縮，俾得滿意的清晰度。

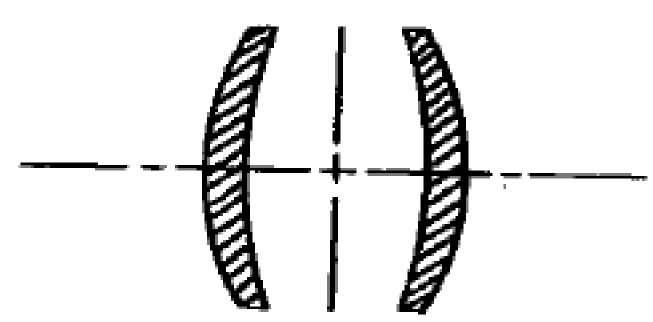


圖 14—4
對稱型透鏡(非一消色差)

依照圖 14—5 中示明的簡單型式，十分自然的對稱透鏡之消色差形式將呈現，且在圖 14—5 中顯示所採用的型式是所謂冕牌及密緻火石"老"玻璃。此透鏡在照相透鏡之設計中爲一特出的階段，雖然殘餘的像散性(*astigmatism*)仍相當大，彗形像差及畸變之校正仍較迄今所得爲最佳，且有一事實即可用在 $-F/a, a = 5.6 \sim 8$，仍可得良好的清晰度，故有"快速直線"(*rapid-rectilinear*)透鏡之稱。惟用此型透鏡，在簡單凹凸透鏡或"老"玻璃消色差凹凸透鏡場合有大量的像散性。

"三重新無收差鏡"是將"老"及"新"玻璃合組爲一組成透鏡，但僅用三塊玻璃而不是四塊，如圖 14—6 所示，且玻璃

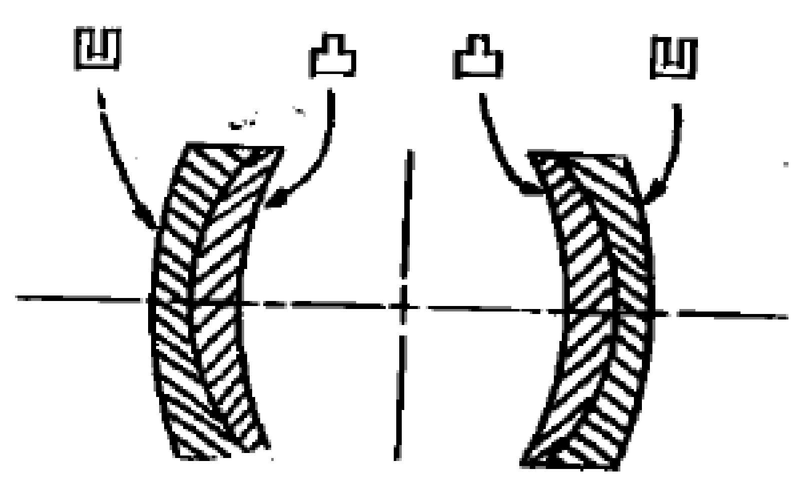


圖 14—5
消色差對稱的"老"玻璃透鏡

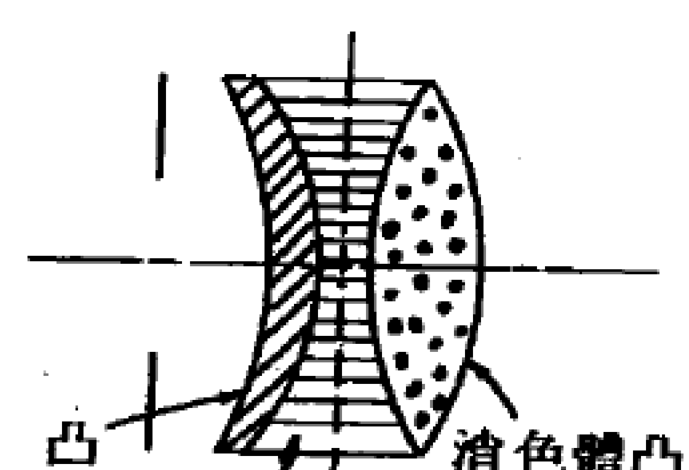


圖 14—6
三重新無收差鏡

之折射率亦均標明。若穿過中間成分之中央，畫一想像的線，則見有一“老”玻璃無色體在點線之左方及一“新”玻璃無色體在右方。如此透鏡可用做一簡單單位（如圖所示），或一對稱型。在此場合中一相同組合應安置在一光闌之另一側。

設計一去像散鏡之另外方法牽涉及未固著成分例如圖 14－7 所示之雪樂（*Celor*）型，而每成分之分隔允許不校正像差中有某程度之自由，有大量的空氣玻璃表面，故因反射及散射光線在物像中易產生不良反襯。

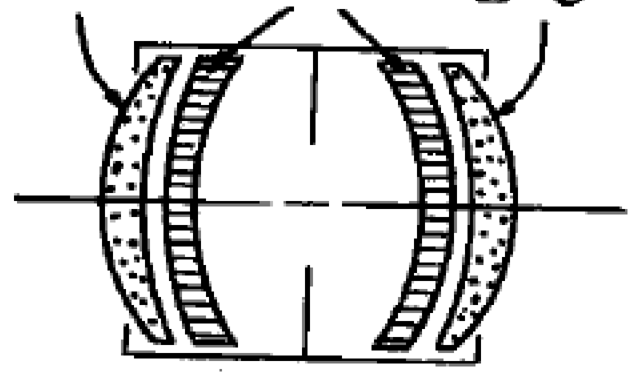


圖 14－7
具分離成分之對稱型

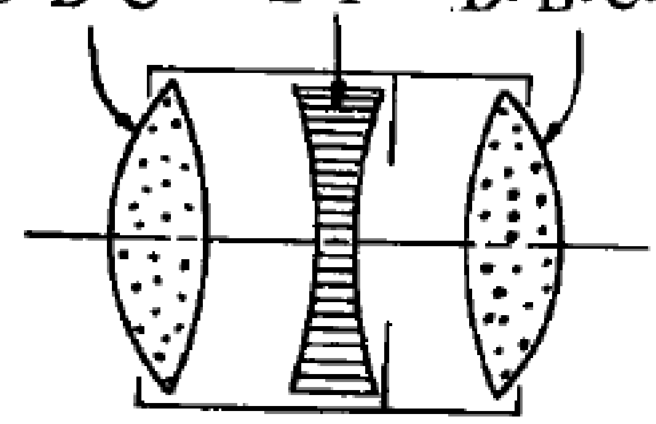


圖 14－8
古克去像散透鏡

其他不接著之去像散透鏡之實例，爲熟知之古克（*Cooke*）型透鏡，如圖 14－8 所示，原爲泰勒（*H. Dennis Taylor*）所設計，此乃一傑出設計且此透鏡之清晰度在 $F/3.5$ 超過 46 度視場。製造此型透鏡已有許多變體，如傑士（*Zeiss*）、蒂沙（*Tessar*）及阿爾帝斯（*Aldis*）去像散透鏡等，但仍保持古克原則。

【對稱運算】（Symmetry operation）

晶體具有種種構造上的對稱性，卽因其原子爲有規則的排列。凡使晶體完全不變的運算，都稱爲對稱運算；如果某種運算將晶格上的一點變換到晶格上條件完全相同的另一點，新點和舊點能完全符合，就說這個晶體具有該種對稱性。例如一維晶體 *ABABAB*，經過平移兩格後 *A* 對應下面一 *A*，*B* 也對應下面一 *B*，假設晶體是無限大，則這種移動並沒有改變晶體的對稱性，就說這種晶體有平移對稱性（*translational symmetry*）。這種平移兩格的運算就稱爲平移對稱運算。除了三維空間的平移運算外，另外旋轉及反轉也可能是對稱運算，這兩種稱爲點對稱運算。平移和點對稱運算的組合也可能是對稱運算，但如果合成運算

是對稱運算，其各組成分子並不一定是對稱運算。

【對稱點】(Point of symmetry)

如圖 14—9 平面鏡MN前放一光點A，任取所發的兩光線AB和AC射在鏡面，依反射定律得兩反射線BD和CE。若將這兩線在其反對方向延長，必相交於一點A'，這點又必在AK垂直線的延長線上，且AK與$A'K$相等，故A'為A的對稱點。

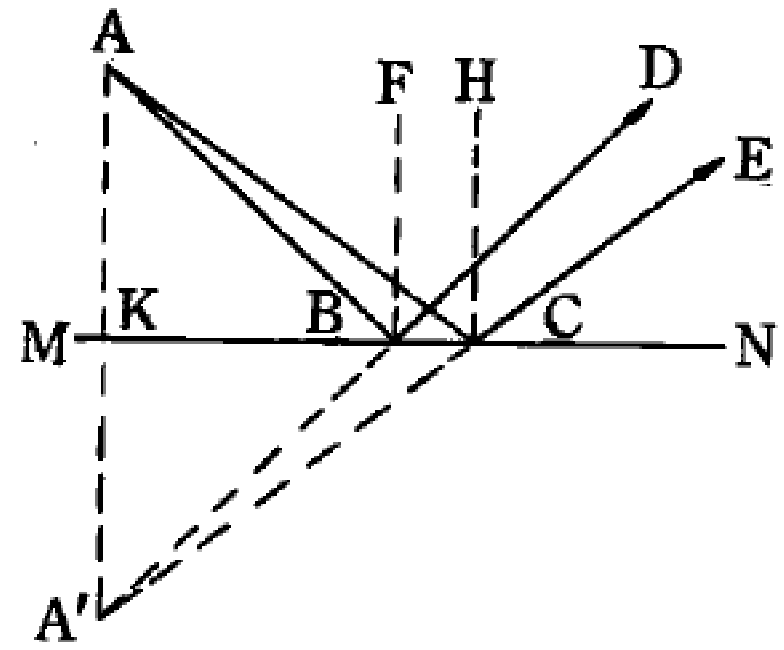


圖 14—9

【對數之模數】(Modulus of logarithm)

如 $a \log b$，則 a 為模數。

【對數表】(Logarithmic table)

將各對數值有系統的整理，所列成的表格謂之對數表。

【對數減縮量】(Logarithmic decrement)

表徵固有振盪衰減速度的數字，是減幅振盪中兩個相鄰幅度比值的自然對數，在減幅很慢的振盪中（其時對數減縮量遠小於 1 ），減縮量近似地等於振盪幅度在一週期內的相對減低。例如若對數減縮量等於 0.05，則是表示振盪幅度在每一週期內減低原值的 5%。迴路中振盪的對數減縮量 δ 隨著迴路內的電阻R、電感L及電容C而變化，它們相互之間有如下的近似關係：

$$\delta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

當迴路的減縮因數很大時，這個關係式就不正確了。隨著迴路電阻的增大，對數減縮量是無限制地升高，這就相當於振盪迴路向非調諧迴路的轉變。評定振盪迴路的特性時，現在常用的並不是對數減縮量，而是為其$\frac{1}{\pi}$的一個數，即所謂迴路的減縮因數。

【對數單位】(Logarithmic unit)

以對數標度（*logarithmic scale*）測量增益或減縮時所用的單位。實際上應用著兩種對數單位。第一種（常用對數）是貝爾和分貝，第二種（以自然對數爲基礎）是奈培。

【對數標度】（Logarithmic scale）

以某量放大（或減縮）後的數值與放大（或減縮）前的數值之比的對數來表示該量的增益（或減縮）的標度。二量之比的對數，可以用常用對數（*log*），也可以用自然對數（*ln*）。如果某量在放大（或減縮）以後的值爲 A_2，而放大（或減縮）以前的數值爲 A_1，則在對數標度中，視所選對數底的不同，這個放大（或減縮）可以表示爲：

$$N_{10} = \log \frac{A_2}{A_1} \qquad N_e = \ln \frac{A_2}{A_1}$$

此時放大所對應的 N 值爲正值（因爲 A_2/A_1 大於 1，此式的對數爲正值），而減縮所對應的 N 值是負值（因爲 A_2/A_1 小於 1，該式對數爲負值）。對數標度具有以下的特點（這些特點使得採用這種標度甚爲方便）：某個量值增長到一定倍數時，其對數只增加某一定數值。因此隨著某量的增長，其對數的增加要慢得多。例如量值增長到 100 倍時，其常用對數的增加爲 2；量值增長到 1,000 倍時，其常用對數的增長爲 3。這點就使得對數標度在研究電路串聯區段（其中功率、電壓、電流等發生相當大的變化）內的功率、電壓、電流等的變化時用起來非常方便。

【對應原理】（Correspondence principle）

又稱對等原理，謂在量子數極大時，量子理論與古典理論相當。

波爾（*Bohr*）在 1913 年提出的原子理論，將量子論用於原子，成功地解釋氫原子的光譜；這是古典物理學的理論所無法解釋的。顯然原子現象須用新的力學理論。但由許多實驗的結果判斷，古典物理學的定律在解釋所有巨觀（*macroscopic*）的運動過程，以及原子整體運動（物質動力論）等，有不可抹滅的輝煌成就。因之，應該設立必要的假設，

使新的量子論與古典力學，對巨觀運動之類的問題，獲致相同的結果。換言之，即要求在質量甚大及大尺度軌道的極限情形時，新的力學理論即成爲古典力學。以特殊相對論爲例，當運動速度遠小於光速時，相對論的結果即與牛頓力學的結果相同。

波爾在 1923 年發表對應原理，說明原子物理學與古典物理學之間的對應關係，內容包含兩點：

1. 量子理論對任何物理系統之行徑的預測，當敍述系統狀態的量子數非常大時，應與對應於古典物理學對此系統之預測相符合。波爾根據當時可資利用的證據，假設古典極限就是量子數大時的極限。

2. 如果有選擇定則時，則此選擇定則必須對量子數的任何值均成立。即在古典極限時（ *n* 甚大），如果我們需要某些選擇定則以求獲得正確的對應，則這些選擇定則在量子極限（ *n* 甚小時）仍應成立。

在量子物理學發展的年代中，對應原理極爲有用，最成功的例子之一是反常則曼效應（ *Anomalous Zeeman effect* ）能階公式的推導。海森堡（ *Heisenberg* ）和薛丁格（ *Schrödinger* ）發展量子力學時，均曾充分利用對應原理的假設。

【慢中子】（ **Slow neutron** ）

即熱中子。

參閱“熱中子（ *Thermal neutron* ）”條。

【慣性】（ **Inertia** ）

一切物體所具有的通性之一，代表對改變原有運動狀態的反抗，亦即保有原運動狀態的習性。質量是這種性質的量度，質量的大小表示改變其運動狀態的難易。至於改變轉動狀態的反抗，則由慣性矩量度之。

下面是慣性的一般例子：

1. 車如突然開動，車上的人都會向後傾。這是由於身體想保持靜止，由於腳與車的底板之間有摩擦之故，腳也突然隨車動的關係。（靜

止物體的慣性）

2.前進的車如突然停止，車上的人即向車前搖傾。（運動中的物體的慣性）

3.若把堆積的書的最下面一册，急速抽出時，在上面的書即原狀的向下落。

4.跑步時，如絆倒東西卽會向前跌倒。

5.要取出柔刀的刃時，用鎚打刀柄卽可。

6.高速的汽車或火車，很難立刻停下來。

7.如圖14—10所示，拉下方的線時，上方的線會斷。這是由於在上方的線有小石的重量與手的拉力作用的關係。可是如急速拉下，由於小石有慣性，則上方的線保持原狀，而只拉斷下方的線。

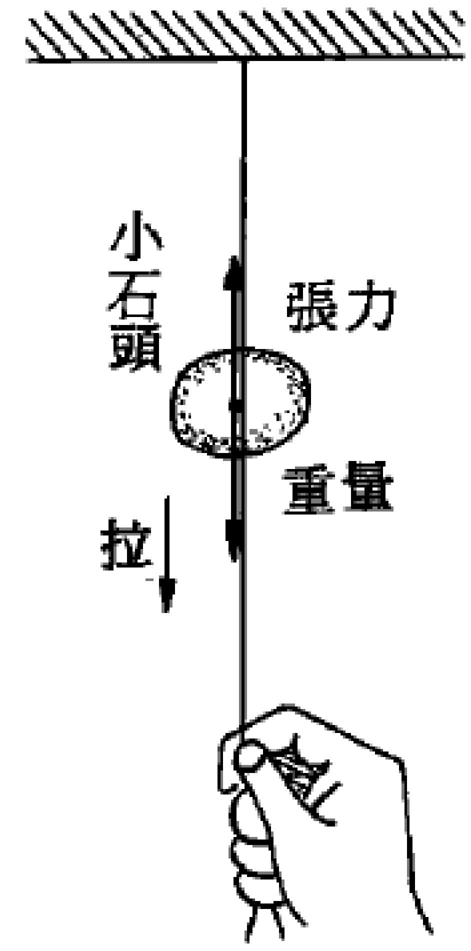


圖14—10
線拉斷的情況

【慣性力】（Inertial force）

若同時有數力作用於一質點，使之獲得加速度$\vec{a}$，該等外力之和爲$\vec{F}$，假設物體所受的阻力可以忽略不計，則按牛頓第二定律得：

$$\vec{F}-m\vec{a}=0$$

量$-m\vec{a}$卽爲慣性力。於是我們可將上式看作達朗白原理（*D'Alembert's principle*）的一種陳述：外力與慣性力的合效應是使系統達成平衡。這種平衡常稱爲動態平衡，以與靜止不動的平衡狀態（稱爲靜態平衡）有別。

這種觀點的優點是：可以參考對應的靜態問題，而解得此動態問題。

對非慣性坐標內之觀察者而言，此慣性力是一假力。

【慣性中心】（Center of inertia）

我們可用一根指頭將旋轉的籃球托住不落，用一根針可將一硬幣頂著不掉，故我們可認爲物體的質量可聚集於一點，此點便是慣性中心，又稱質心。一般物體的質心與重心都在同一點。

【慣性主軸】(Principal axis of inertia)

在剛體內有一組特定的坐標軸，其特性是：該剛體就該組坐標軸求出的慣性積爲零，因而該剛體的角動量可只用慣性矩(*moment of inertia*)和角速度(*angular velocity*)表示。這組坐標軸即爲該剛體的慣性主軸。

就慣性主軸求得的慣性矩，稱爲該剛體的主慣性矩，且爲該剛體的慣性矩的極大值或極小值。

【慣性定律】(Law of inertia)

凡物體不受外力作用，則靜者恆靜，動者恆動，依直線等速運動，是爲慣性定律，即牛頓第一運動定律。

詳閱"牛頓第一運動定律(*Newton's first motive law*)"條。

【慣性坐標系統】(Inertial coordinate system)

假如在一個體系中，不受外力的物體不作加速運動，那麼這種體系就叫慣性坐標系統。對一慣性坐標系統作等速相對運動的參考體系，一定也是慣性坐標系統。此慣性坐標系統即牛頓第一運動定律所存在的坐標系統。

【慣性阻力】(Inertial resistance)

靜止之物體在進入運動之際，會遇到阻力；運動之物體則在其速度大小或方向上發生變化時，亦會遇到阻力。此項阻力是由於物體之慣性而發生，所以稱爲慣性阻力。物體之質量愈大，以及它的速度大小或速度方向達到某種改變程度之時限愈短，則物體的慣性阻力亦愈大。

【慣性矩】(Moment of inertia)

以m_i表示質點組中第i個質點的質量，其坐標爲x_i、y_i及z_i，則該質點對X軸的慣性矩爲

$$I_x = m_i(y_i^2 + z_i^2)$$

餘類推。整個質點系對各坐標軸的慣性矩爲

$$I_{xx}=\sum_{i=1}^{n} m_i\ (y_i^2+z_i^2)$$

$$I_{yy}=\sum_{i=1}^{n} m_i\ (z_i^2+x_i^2)$$

$$I_{zz}=\sum_{i=1}^{n} m_i\ (x_i^2+y_i^2)$$

式中n爲系統中的質點數。

若要計算的是對於任意一軸的慣性矩，則

$$I=\sum_{i=1}^{n} m_i\ r_i^2$$

r_i爲第i個質點至該軸的垂直距離。

倘所處理之系統中的質量爲連續分佈，密度爲$\rho(x,y,z)$，則上述諸式中之$\sum_i$應換成爲體積的積分$\int$，m改爲$\rho(x,y,z)\,dV$，dV爲體積基素。即

$$I=\int_V \rho(x,y,z)\,r^2\,dV$$

慣性矩在決定一剛體的轉動和質量，在決定物體的直線運動具有同樣的地位。

參閱"角加速度（*Angular acceleration*）"條。

"角動量（*Angular momentum*）"條。

【慣性參考系】（Inertial frame of reference）

慣性參考系是指一參考系S與另一參考系S'相對以等速運動，則在該二系上的觀測者，均稱爲慣性參考系的觀測者。故一般的慣性參考系是指以等速度相對運動的參考系而言。牛頓的運動定律在所有慣性參考系中都成立。

特殊相對論的兩個基本假設與慣性參考系有關，兩個假設是：

1.對於物理現象的描述方面，所有慣性系是等效的。

2. 在所有慣性系中光速的值都相同。

【慣性積】(Product of inertia)

沿用“慣性矩”(*moment of inertia*)的有關符號，慣性積的定義爲

$$I_{xy}=\begin{cases}\Sigma m_i x_i y_i\\ \int\rho xy\,dV\end{cases}$$

$$I_{yz}=\begin{cases}\Sigma m_i y_i z_i\\ \int\rho yz\,dV\end{cases}$$

$$I_{zx}=\begin{cases}\Sigma m_i z_i x_i\\ \int\rho zx\,dV\end{cases}$$

上行適用於質點組，下行則爲剛體的慣性積。

【慣性張量】(Inertial tensor)

張量(*tensor*)是向量的推廣。慣性張量可表示如下：

$$I=\begin{bmatrix}I_{xx} & I_{xy} & I_{xz}\\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz}\\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz}\end{bmatrix}$$

其中對角線上的元素(*element*)，即剛體對三個互相垂直的軸的慣性矩；而非對角線上的元素，則爲慣性積。

【慣性質量】(Inertial mass)

慣性質量，顧名思義，一個物體的“慣性”(*inertia*)是它抗拒外力的性質。因此，一個外力作用在一件物體上僅使它的速度作些微的改變——慣性愈大改變愈小。這樣，我們可以利用力及一物體受這個力後所產生的加速度之比來決定這個物體的慣性質量。但這樣定出來的慣性質量所決定的也不是物質的量而是物體的慣性。

參閱“重力質量(*Gravitational mass*)”條。

【慣量橢球】(Inertia ellipsoid)

謂在剛體轉動時可以橢圓球方程式

$$I_{xx}x^2 + I_{yy}y^2 + I_{zz}z^2 - 2I_{xy}xy - 2I_{yz}yz - 2I_{xz}xz = 1$$

來討論。

【態】（State）

分子連合在一起而成各種物質，此種連合的力，主要是由於電磁交互作用。在各種情形下（壓力、溫度等），這些物質由於連繫的鬆緊而形成很多不同的態。由緊至鬆可分爲固態、液態、氣態三種。在固態中分子的排列整齊，分子間的束縛力也非常強，而成爲晶體（*crystal*），它的形狀一定、體積一定。在氣態中，每個分子快速而無規則的運動，分子間的平均距離，遠較其本身直徑大，有時由於原子間的運動太快，而把原子外層的電子剝脫，使其中的粒子都游離而呈帶電狀態，這一種形態稱爲電漿態（*plasma state*）；在恆星內的物質多呈此態。在液態中，分子間距離遠較氣體爲小，然其排列仍爲不規則，而且分子之間很容易彼此滑動。

【態向量】（State vector）

在量子力學背後有一主要的概念，就是要摘取波動力學（*Wave mechanics*）及矩陣力學（*Matrix mechanics*）的共同面目，揉合成一完全的系統，它的理論可以以不同的形式，解決各種特殊的問題。例如，在波動力學中，任何事物是以粒子的位置表示；而在散射問題中，動量是最有趣的，所以以動量表示任何事物的理論形式是較有用的。

爲此得先引入系統態的概念，瞭解了系統態即表示對系統的充分瞭解，因爲它的行徑可由運動定則決定（即薛丁格方程式）。量子力學的主要特徵在於態的重疊可得到另一新態，組合的方式類似於一般的聲波或光波，它們是許多不同頻率波的組合。

任何光脈波都可以由許多單頻率波的重疊而產生，單頻波的選取並不是唯一的。在量子力學也是先選取基本態，由此建立其他的態。基本態的選取有許多方式，通常是以處理的問題作選取的根據。一個問題的

基本態選取，雖有許多不同形式，但最後的答案仍只有一種。某種特別選取，只爲計算方便，選定的某種基本態稱爲表象。

由上述態的性質及基本態選取的多樣性，可以將態視爲多維空間的向量，而一表象的基本態就是一組坐標軸。物理量只與兩態間的關係卽兩向量間的交角有關，而不與系統所用的坐標有關。

在波動力學上最熟悉的表象是能量表象，或稱定態表象，此時基態爲漢彌頓算符（*Hamiltonian operator*）的本徵態。以數學式表示前述的重疊原理，則任何態的波動函數可寫爲 ϕ_n 的線性組合，

$$\psi = c_1(t)\psi_1 + c_2(t)\psi_2 + \cdots\cdots$$

式中 c_1，c_2，…爲時間的複數函數。爲了方便起見常將所有波函數歸一化，卽 $\int \psi^*(x)\psi(x)dx = 1$

這表示態向量的方向比其長度更具重要性。

【態密度】（Density of state）

在固態物理中態密度主要可分爲兩類，一類是電子態密度，另一類是聲子態密度。

所謂電子態，是一系統中的電子，其運動情形按照此系統的薛丁格波動方程式的定解中之一所描述，而其所具有的能量也是薛丁格波動方程式的本徵值，此電子所屬的能態就稱爲電子態。

電子態密度 $N(\epsilon)$ 定義是單位能量差之內電子態的數目，所以 $N(\epsilon)d\epsilon$ 就表示在能量 ϵ 與 $\epsilon + d\epsilon$ 的範圍之內所含電子態的數目。

以一維空間的自由電子系統而論，在絕對零度時，N 個質量爲 m 的電子拘限在長度 L 的空間內，由薛丁格方程式所得的本徵值爲

$$\epsilon_n = \frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2$$

由庖立不相容原理（*Pauli's exclusion principle*），一個量子數 n 有兩個電子態，所以

$$N(\epsilon)=2\frac{dn}{d\epsilon}=2L\left(\frac{m}{2\epsilon}\right)^{1/2}\frac{1}{h}$$

如在三維空間自由電子系統內，薛丁格波動方程式的本徵值爲

$$\epsilon=\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\pi^2}{L^2}(n_x^2+n_y^2+n_z^2)$$

體積爲　　$V=L^3$

而得

$$N(\epsilon)=\frac{V}{2\pi^2}\left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{3/2}\epsilon^{1/2}$$

這是態密度公式，在固態物理中常常用到。

假如不在絕對零度，態密度就成爲 $f(\epsilon)N(\epsilon)$，$f(\epsilon)$ 是費米、狄悅克分佈函數（*Fermi-Dirac distribution function*），決定能量爲 ϵ 的電子態被電子所佔的機率。

聲子態密度 $D(\omega)$ 定義爲單位頻率內聲子態的密度。對體積 L^3 適合週期邊界條件的 N^3 個原子的系統而言，不同的偏振態密度爲

$$D(\omega)=\left(\frac{L}{2\pi}\right)^3\int\frac{dS_\omega}{v_g}$$

式中 $v_g=|\nabla_k\omega|$ 是群速度，積分的範圍是在一定頻率 ω 內。

在德拜近似法（*Debye approximation*）中 $v_g=v=\omega/k$ 是一定值，對每偏振方向爲

$$D(\omega)=\frac{\omega^2L^3}{2\pi^2v^3}\qquad\omega<\omega_D.$$

【截止屏流】（Cut-off plate current）

當柵負壓甚高時，屏流即截止。

【截止偏壓】（Cut-off bias）

能使電子管屏流截斷的柵負壓。

【截止電位】（ Cut-off potential ）

在光電效應（ *photo-electric effect* ）之實驗（光電管）中，設將發射板與接收板間保持一減速電位差，當此減速電位差之值增加到使原有之光電流停止時，此時之電位稱爲截止電位。

【截止頻率】（ Cut-off frequency ）

濾波器對某頻率迅速削弱。

【截面】（ Cross section ）

截面是一種對於發生核反應機率的度量。如欲計算粒子射束通過一定厚度的物質（靶）而引起核反應的機率，我們必須知道粒子射至靶上每一原子核的橫斷面，此斷面表示每一靶原子核對每入射粒子所引起核反應的平均數。故核反應截面定義爲

$$\text{截面} = \frac{\text{反應後射出粒子數}}{\text{入射粒子數} \times \text{每單位體積靶上原子核數} \times \text{靶厚}}$$

截面的單位與面積相同，在 $C.G.S.$ 制中以平方厘米（ cm^2 ）表示之，通常爲很小的數字，故常用另一單位，邦（ *barn* ）表之，簡寫爲 b（ $1b = 10^{-24}$ 厘米^2，一毫邦爲 $1mb = 10^{-27}$ 厘米^2 ）。

表示在一原子核反應中，粒子在某一定角度（即射出方向與入射方向的夾角，以 θ ，ϕ 表示）射出的機率，稱爲微分截面（ *differential cross section* ），以 $\frac{d\sigma(\theta,\phi)}{d\Omega}$ 表示。

所有角度之微分截面的總和稱爲總截面（ *total cross section* ），以 σ 表示，即

$$\sigma = 2\pi \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin\theta \, d\theta$$

【摻雜方法】（ Doping method ）

有計劃的將不純物質加入半導體中的方法謂之摻雜方法。即將某種不純物質摻入半導體中，改變其組成化學成分的比例，而得到所需要性質的方法。例如在室溫時，含有十萬分之一硼（*B*）原子的矽（*Si*），其導電性比純的矽增加約1,000倍。在複合半導體中，如使其組成的化學成分的比例改變，其作用正如加入不純物質一樣，這種半導體稱爲缺額半導體。

【敲擊樂器】（Percussion instrument）

由敲擊緊張的板或膜振動而發音的樂器。音調的高低，隨板面或膜面被擊的位置而定，因其構造簡單，大都沒有調節音調的裝置，所以聲音的變化很少。如木琴、鼓、鑼、鐃、雲板等皆是。

板及膜之振動，有腹、節，皆成偶數，節線兩側運動方向恆相反。棒之振動，可生橫振與縱振，固定之端爲節，自由之端爲腹；同截面之棒，短者振動較速，風琴、口琴之簧（*reed*）即此橫振棒之應用。棒之縱振雖尚無用於樂器，但對測定聲波在某氣體中的速度如孔特管（*Kundt's tube*）很有用。如固定棒之中點使作縱振，則其振動情形與開口管之基音相似，故 $\lambda = 2l$。

【構像管】（Imagery tube）

電視機中接收用的射線管。

【槓桿】（Lever）

槓桿是能繞一固定點或一定軸線自由旋轉之堅固長棒，爲最普通的簡單機械。

如圖14—11所示，*O*爲固定點稱爲支點，*A*爲施力處稱爲施力點，*B*爲抗力點，*AO*爲主力臂即施力點到支點之垂直距離，*BO*爲抗力臂即抗力點到支點之垂直距離。機械利益等於*AO*／*BO*。

各種器具或機械中利用槓桿原理者很多，但依其支點、施力點、抗力點等的位置不同，其作用也各有不同，可分下列三種：

1. 第一種槓桿——支點居中，施力點與抗力點在其兩端，機械利益不定（視支點與其他兩點之關係位置而定）；例如：剪刀、秤、老虎鉗、小船的槳等屬之。

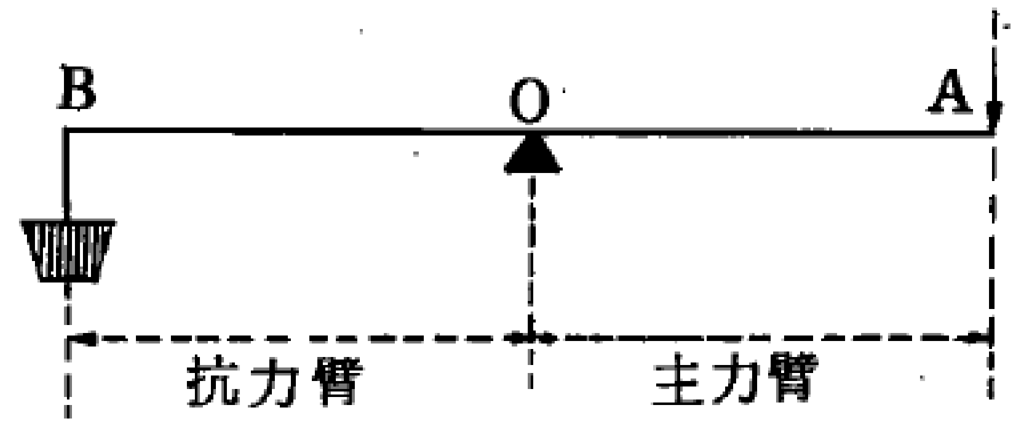


圖 14—11

2. 第二種槓桿——支點在末端，抗力點在支點與施力點之間，機械利益恆大於 1；例如：獨輪手推車、裁紙器、瓶蓋起子、開罐起子等屬之。

3. 第三種槓桿——支點在末端，施力點在支點與抗力點之間，機械利益恆小於 1；例如：筷子、刀、麵包夾、人之前臂的運用等屬之。

【槓桿之機械利益】（Mechanical advantage of lever）

詳閱“槓桿（*Lever*）”條。

【槓桿定律】（Law of lever）

當槓桿平衡時，向右旋轉的力矩，與向左旋轉的力矩相等。因此，在圖 14—12 中便有

$$P \times a = Q \times b \text{ 或 } \frac{P}{Q} = \frac{b}{a}$$

的關係成立，這叫槓桿定律。要用槓桿作為工具應用時，加在施力點的力的大小，與在抗力點作用的力的大小是和力臂成反比例。

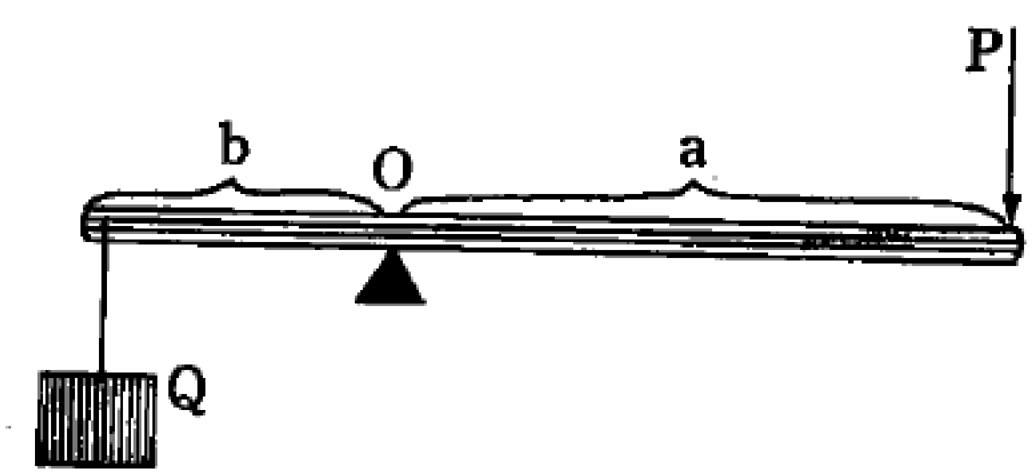


圖 14—12

因此，把槓桿的力臂與抗力臂的比調整適當時，就能用小力產生大力，或改變運動的速度或方向，或以小移動變為大移動。

【槓桿與功】（Lever and work）

如圖 14—13 所示，用槓桿移動物體時，槓桿對物體所作的功，與人對槓桿所作的功相同。例如：

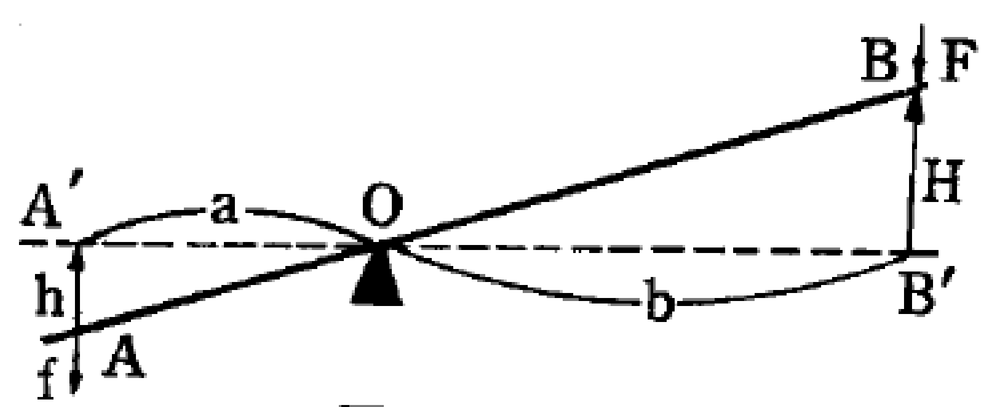


圖 14—13

$$b = 2a\text{時，}F = \frac{1}{2}f$$

但因施力點移動的距離為$H = 2h$，所以功量不變。

【槓桿臂】(Arm of lever)

所謂槓桿臂，恆指作用力（負荷）和旋轉點之間的間隔而言。此項間隔乃是旋轉點和力方向之間的最短距離或是等於由旋轉點到力方向上所作垂線之長度。在直臂槓桿上，可直接利用槓桿長度 a 和 b 來代替所述之間隔 p 和 q（如圖 14—14），這是由於兩個繪有影線的三角形彼此相似，遂使 $q/p = a/b$ 的緣故。因此，$P : Q = a/b$ 或 $P \times b = Q \times a$ 之關係式，在取得平衡的情形下亦可成立。

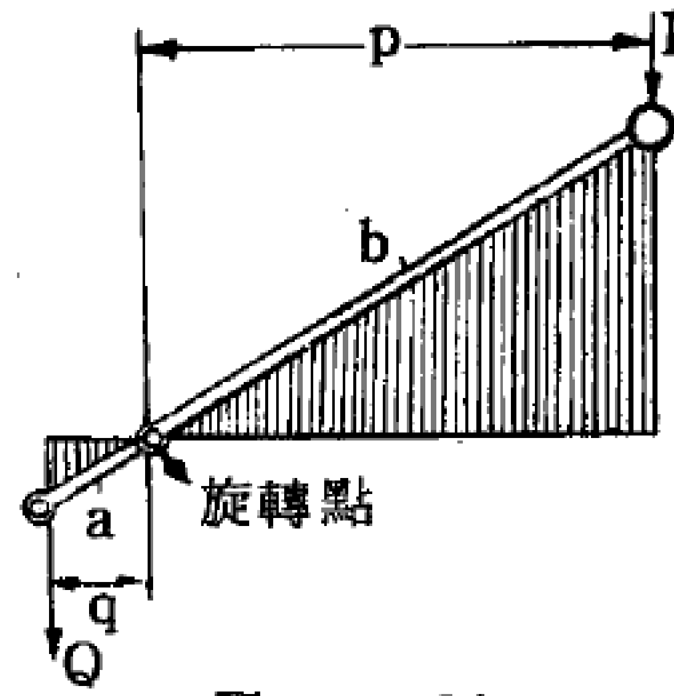


圖 14—14

【殞星】(Meteors)

詳閱"流星（*Meteors*）"條。

【滴定計】(Titrimeter)

使用於測定滴定所需液量的器具。其構造如圖 14—15 所示，長玻璃管上面刻有分劃並在下端有管門。

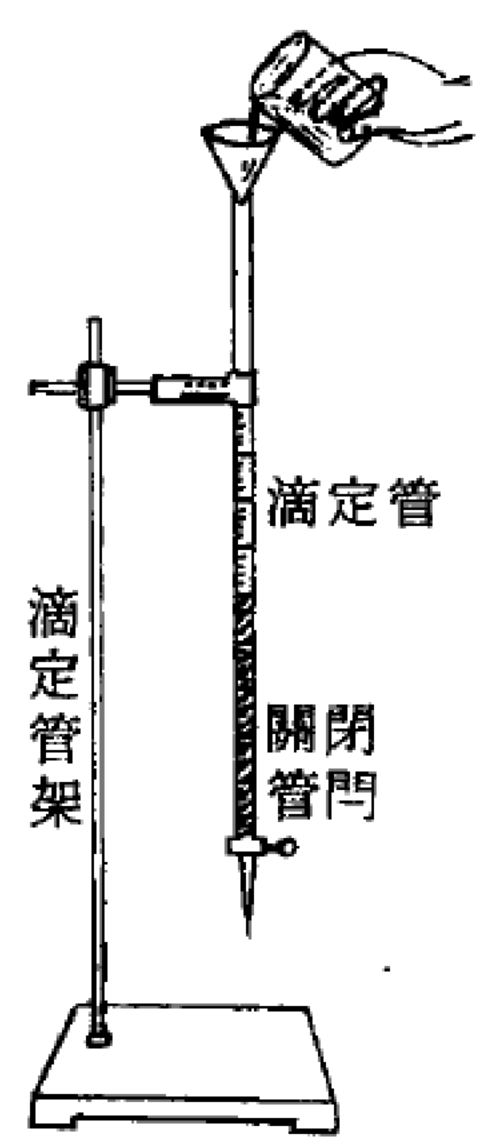


圖 14—15

【滾動摩擦】(Rolling friction)

物體互相轉動而生摩擦，就是滾動摩擦。即一圓體在另一平面上滾動時所遇之抵抗為其滾動摩擦。若以 O 為支點，由力矩關係

$$p \cdot r\cos\theta \geqq w \cdot r\sin\theta$$

（θ 甚小時，$\cos\theta \doteq 1$）

即 $pr \geqq wr\sin\theta$。若命 $r\sin\theta$ 為滾動摩擦係數，故知力矩＝正壓力×滾動摩擦係數。

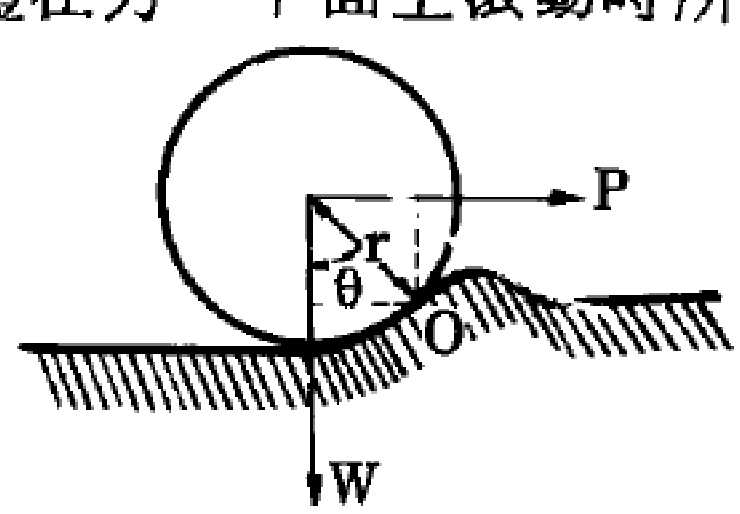


圖 14—16

【滾動摩擦力】(Force of rolling friction)

物體滾動時接觸面一直變化時，物體所受的摩擦力，稱爲滾動摩擦力。接觸面愈軟，形狀變化愈大，滾動摩擦力就愈大。由於滾動摩擦力遠比滑動摩擦力爲小，所以欲移動笨重的東西時，用滾棒或滾筒，或爲減少摩擦力而常用球軸承等。

【滾動摩擦係數】（Coefficient of rolling friction）

滾動摩擦所生之反力矩，與輾子與平面間互壓之力成正比，此比例常數即爲滾動摩擦係數。

參閱“滾動摩擦（*Rolling friction*）”條。

【漏洩】（Leakage）

在核工程中，中子從反應器核心逃出的現象稱爲漏洩，亦稱滲漏。漏洩會減低反應器的反應率。

【漏電】（Leakance）

電流通過不應通過的道路叫做漏電。漏電有下列幾種情況：

1. 引進線碰到屋簷、樹木、刮破被覆，露出之電線與金屬接觸，電流由此流至地面。

2. 屋內配線因潮濕或配線不良，絕緣降低而漏電。因漏出之電流在電路內之電阻較大處發熱，因而釀成火災。

3. 電器之絕緣不良而漏電。這時如不小心便會觸電。

其防止方法爲：

1. 經常檢查配線設備或電器之絕緣。

2. 電器應放置在乾燥場所使用。

3. 應使用合乎規定之保險絲（不可使用銅線）。

【漏磁】（Leakage flux）

由於磁洩漏而從磁路中分散到周圍空間的一部分磁場。磁路中的磁阻越小，則漏磁便越小。故在用有橫截面足夠大的閉合鋼芯（或由其他高導磁率材料作成的鐵芯）的情況下，漏磁常常是很小的。

【漸成接頭電晶體】(Grown-junction transistor)

欲製造具有兩個P-N接頭的單晶體，常用的方法有四種。應用這四種不同的方法，可以製成漸成接頭、合金接頭(*alloy-junction*)、擴散高臺(*diffused mesa*)及平板(*planar*)等四種不同的電晶體(如圖14—17)，雖然現在已經在設計方面修正了很多，但基本上依然是分爲以上所述的四種型式，只不過細目不盡相同罷了。漸成接頭電晶體的製法，是在晶體生成過程中，不斷改變雜質的濃度，同時把凝固晶體從熔質中拖出而製成。今以P-N-P電晶體的製法來說明這種種過程。

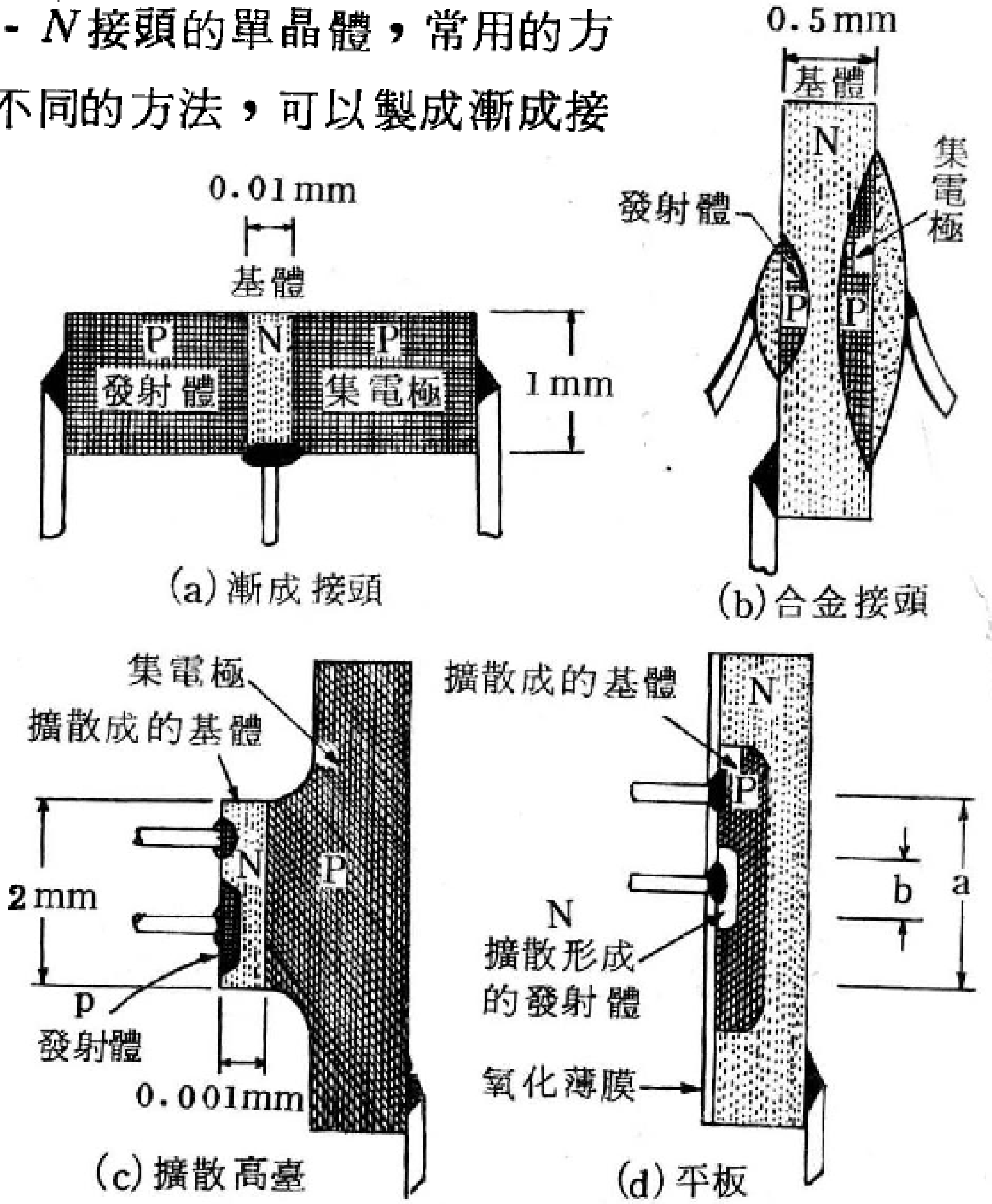


圖 14—17　接頭電晶體的構造

首先我們使用P型熔質以生成P型單晶體，以作爲集電極區域，等過了一段短時間之後，待P型單晶體已有相當長度，再從側管加入N型雜質，使熔質變成N型，並使晶體繼續生成，當N型基體的厚度達到要求的標準時，復加入更多的P型雜質，使生成晶體又變爲P型，而得到發射體區域，此時所生成的單晶體，則在垂直於晶體生成的方向上得一層N型區域、P型甚強的發射體及一P型較弱的集電極區域。標準的生成晶體直徑約1～2厘米，但電晶體則約1厘米^2，故原有晶體可切製成許多個電晶體。其次是要把電接頭接到這三個不同的區域上，這種處理莁

程多用焊接法，通常使用的焊料多含與焊合部分電導性相同的雜質，以使電接頭接觸良好。例如P型區的焊料含銦（In），用於基體的焊料含銻（Sb），這點對較薄的基體言尤為重要，因為不僅N型雜質與N型基體的接觸優良，而且焊料一旦與P型區域接觸後，仍然形成一個$P-N$接頭，所以即使焊料可能延伸到基體的薄層外緣，它仍能有效地將基體與另兩個P型區域分隔開，可見焊料中所含的雜質十分重要。

歷史上最先製造成功的電晶體是漸成接頭型，但現已為他法所取代。

【漸近線】（Asymptote）

設平面上有一曲線C，若有一直線l，具有以下之性質：當l無限延長（正反二向均可）時，l與C之距離趨近於零，則稱l為C之漸近線。而漸近線並不僅限於直線。

【漸變】（Drift）

振盪管內部溫度發生變化時，各電極本身即具金屬冷縮熱脹功效，最後引起管內電極間的電容發生改變，但電極間電容有些屬調諧電路的一部分，結果振盪頻率亦受影響而改變；同樣，貯能電路如溫度發生變化時，其感應量、電容量及分佈電容等亦有變化，頻率當亦受影響，以上兩項所形成的不穩是慢性的故稱漸變。

【漂移】（Drift）

帶電粒子受外加電場時發生運動。各粒子運動時互相碰撞，運動很不規則謂之漂移。

【漂移速度】（Drift velocity）

帶電粒子承受外加電場時的平均速度。各個粒子與其他粒子碰撞其行進方向不斷改變，故粒子的運動很不規則。但平均而論，粒子會在電場方向慢慢前進，此即漂移速度，通常小於粒子在碰撞之間的散亂速度。

每一個S分子，從上次碰撞後，就不斷地沿$\vec{F}$方向增加速度。這一部分速度的平均值，就是加速度$\vec{F}/m$（m表示S分子的質量）乘以上次碰撞以來的平均時間，這段時間等於到下次碰撞的平均時間τ。由$\vec{F}$引起的平均速度，當然就是漂移速度，所以得到這樣一個關係式：

$$\vec{V}_{漂移}=\frac{\vec{F}\tau}{m}$$

【漢克爾函數】（Hankel function）

$$H_n^{(1)}=i\csc n\pi\left[e^{-n\pi i}J_n(x)-J_{-n}(x)\right]$$

$$H_n^{(2)}=-i\csc n\pi\left[e^{n\pi i}J_n(x)-J_{-n}(x)\right]$$

式中$J_n(x)$是貝色函數（*Bessel function*）。

【漢克爾轉換】（Hankel transform）

若$f(x)$是$F(x)$的轉換，則

$$f(y)=\int_0^\infty J_n(xy)F(x)x\,dx$$

$$F(x)=\int_0^\infty J_n(xy)f(y)y\,dy$$

式中J_n是貝色函數（*Bessel function*）。

【漢彌頓、亞可比方程式】（Hamilton-Jacobi equation）

$$H\left(q_1,q_2,\cdots q_n,\frac{\partial s}{\partial q_1},\frac{\partial s}{\partial q_2},\cdots\frac{\partial s}{\partial q_n},t\right)+\frac{\partial s}{\partial t}=0$$

式中H是漢彌頓函數，q_i是廣義坐標，s是漢彌頓主函數。

【漢彌頓方程式】（Hamilton's equation）

古典力學中最基本的假設爲漢彌頓原理，即一守恆系統自時間t_1到t_2的運動，應使對於運動路徑的線積分

$$I=\int_{t_1}^{t_2}L\,dt$$

爲一極值。其中L爲拉格朗函數，乃是

$$L=T-V$$

T爲動能，V爲位能。若此系統的自由度爲f，廣義坐標爲q_i，廣義速度爲$\dot{q}_i = dq_i / dt$，用以描述運動狀態。則由漢彌頓原理可得尤拉、拉格朗方程式（*Euler - Lagrange equation*）

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0$$

設q_i的正則共軛動量爲$p_i = \partial L/\partial \dot{q}_i$，並定義漢彌頓函數爲

$$H(q_1, \cdots, q_f ; p_1, \cdots, p_f ; t) = \sum_{i=1}^{f} p_i \dot{q}_i - L$$

則由上列方程式，微分H可導出漢彌頓運動方程式

$$\dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}$$

$$\dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i} \qquad i = 1, 2, \cdots, f$$

【漢彌頓函數】（Hamiltonian function）

此函數的定義爲$H = \sum_{i=1}^{n} p_i \dot{q}_i - L$，式中$L$爲拉格朗函數（*Lagrangian function*），n爲所描述之系統的自由度。

當L不因時而變時，H爲動能K和位能V之和，亦即總能量E。例如線性諧振體的$H = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}kx^2$，理想的無摩擦諧振體之$H = E$。

H滿足正則運動方程式，又稱爲漢彌頓運動方程式。在量子力學中，視H爲一算符，並須作適當的改寫。

【漢彌頓風車】（Hamiltonian windmill）

導體面上的電荷互相反斥的結果，電荷多集中於尖端。換言之，即電荷之密度增大。因而尖端周圍形成強力之電場，空氣分子、塵埃因感應分極而變成偶極子被尖端吸引，然後又獲得同性電荷而產生互斥，似此氣體的流動形成電荷風，由其反作用力而使漢彌頓風車迴轉，其方向則與尖端相反。

【漢彌頓原理】(Hamilton's principle)

用於力學系統的一個變分原理，力學系統的運動可由

$$\int_{t_1}^{t_2} (\delta T + \sum_{i=1}^{n} F_{ie} \cdot \delta r_i) dt = 0$$

表示，式中 δT 爲動能的變化，$\sum_{i=1}^{n} F_{ie} \cdot \delta r_i$ 爲外加力所作的虛功若諸外力形成一守恆系統而位能爲 V，則此原理成爲

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta (T - V) \, dt = \int_{t_1}^{t_2} L \, dt = 0$$

式中 L 爲拉格朗函數，即 $L = T - V$。

應用此原理時應注意：各量的變分在 t_1 及 t_2 瞬間應均爲 0，亦即此原理中所涉及的種種變分路徑須對應於相同的時間間隔內。

此原理可就守恆系統重述如下：一動力學系統在一定時間內，由一點至另一點的許多可能路徑中，所選取的是使 L 的時間積分爲極值的路徑。在幾乎所有的重要應用中，這個極值往往是極小值。

【漢彌頓算符】(Hamiltonian operator)

討論薛丁格方程式（*Schrödinger's equation*），如果波函數 $\Psi (x , t)$ 可以被分成 x 函數和 t 函數的乘積，即

$$\Psi (x , t) = \psi (x) \phi (t)$$

代入薛丁格方程式，得

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \phi (t) \frac{d^2 \psi (x)}{x^2} + V (x) \psi (x) \phi (t) = i \hbar \psi (x) \frac{d\phi (t)}{dt}$$

兩邊各除 $\psi (x) \phi (t)$，則

$$\frac{1}{\psi (x)} \left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi (x)}{dx^2} + V (x) \psi (x) \right\} = i \hbar \frac{1}{\phi (t)} \frac{d\phi (t)}{dt}$$

上式中左邊純粹爲 x 之函數，右邊爲 t 之函數，兩邊都必須是一個常數，因此

$$\left.\begin{array}{r}\frac{1}{\psi(x)}\left\{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(x)}{dx^2}+V(x)\psi(x)\right\}=C\\ i\hbar\frac{1}{\phi(t)}\frac{d\phi(t)}{dt}=C\end{array}\right\} \quad (1)$$

由(1)式的第二式可立刻得出

$$\phi(t)=e^{-ict/\hbar}$$

其實C就是這系統的能量E，這可以由德布洛利（*De Broglie*）的假設中看出來，因爲波相角中時間部分的係數就是角頻率（*angular frequency*），$\omega=C/\hbar$，所以C即是能量E。因此，(1)式中之第一式可被寫成

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(x)}{dx^2}+V(x)\psi(x)=E\psi(x) \quad (2)$$

(2)式即稱爲不隨時變的薛丁格方程式（*time independent Schrödinger equation*）。

將(2)式的微分方程式用算符p和x來表示，則變爲

$$\left[\frac{P^2}{2m}+V(x)\right]\psi(x)=E\psi(x) \quad (3)$$

$\frac{P^2}{2m}+V(x)$這個算符，稱之爲漢彌頓算符，它是一個能量的算符。我們可以知道凡是符合(3)式的波函數（*wave function*），它的能量的期望值必定是E。其實不只是平均值而已，這物理狀態是有固定的能量值E的，由此稱(3)式的解$\psi(x)$爲漢彌頓算符$\frac{P^2}{2m}+V$的固有函數（*eigen function*），而稱E爲對應於這個固有函數的固有值。

【滿殼】(Closed shell)

惰性氣體（氦、氖、氬、氪、氙、氡）的束合能較大，爲單原子氣體，其基態的總角動量爲零，這都是因爲電子的組態恰成滿殼。

【滯後】(Lag)

同一頻率的兩個交流成分，當中一項比另一項落後者。

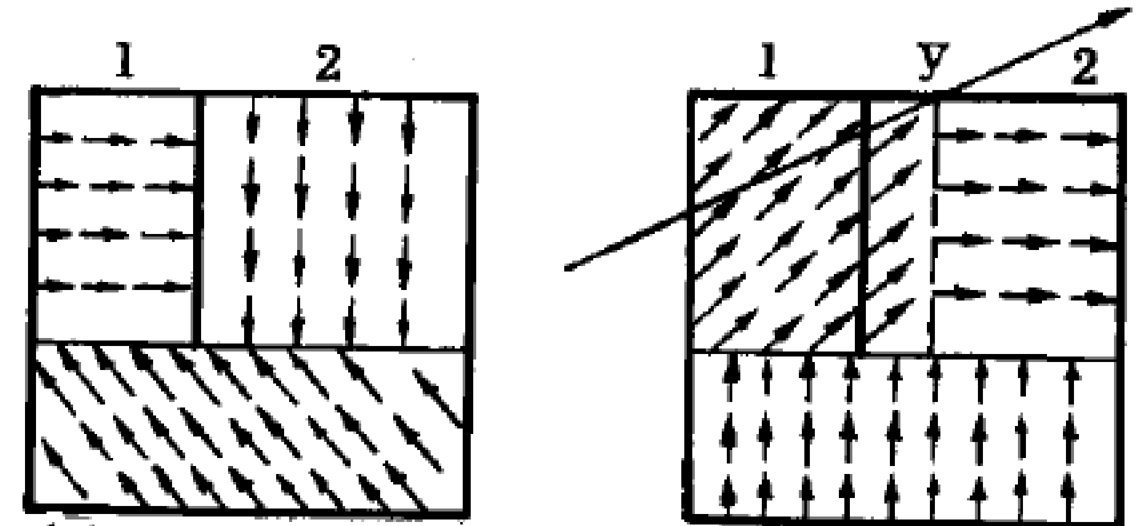
【滯後角】(Lagging angle)

如交流電通過純感應量時，電流將落後於電壓90°角。

【滯後現象】(Hysteresis)

磁滯是磁性材料的充磁與去磁不能完全一樣，這是因爲材料的充磁總是比磁化場要落後一些。並且物體充磁時所耗的能量中，有一部分在去磁時不能還原，而變成了熱。

此種現象並非純原子觀點所能解釋，因在飽和情況下，所有分子磁必已平行排列起來，而這種整齊排列(熱振動作用雖與之相反，但對之並無影響)，殆非有一極強的磁場不可，然而根據計算，此種磁場強度事實上絕非工業上所能產生。因此，人們遂不得不假設在沒有外在磁場存在時，試件中若干微小區域內的分子磁早就已因內在原子的巨大作用力而平行排列起來了。由此，可見一鐵磁性物體實由許多小區域所組成，而這種區域中則含有方向一致之無數分子磁(如圖14—18)。當無外在磁場時，各區域的方向並非一致，所以該鐵磁性物體對外並不顯示磁性。但一旦引入外在磁場，便會立即發生一種重新排列的作用，這種作用初時僅發生於各區域的表面，使其中的分子磁場方向與外在磁場者趨於一致。當所有區域均已整齊排列時，便達到飽和的狀態了。此項過程與質素晶體結構內的張力恰好相反。當外在磁場消失時，由於晶體內這種富有彈性的張力的關係，分子磁的這種轉動僅能部分恢復原狀，故各基本區域內遂有些許餘磁得以保留下來。



(a) 無磁場存在時　(b) 有磁場存在時

圖 14 — 18

由平行整列的分子磁組成的小範圍的情形

因此，材料若是多次地往復磁化，便會有顯著的能量損失，有時還

會引起充磁物體強烈的發熱。材料所呈現的滯後越強，則其往復磁化的損失亦越大。故在有交變磁力線的磁路中，應採用磁滯較小的材料，因爲它是速變磁場中介質發熱及能量損耗原因之一。

【滯後電流】(Lagging current)

交流電通過感應器時，電流比電壓落後，亦即電壓導前於電流。

【滯後電壓】(Lagging voltage)

交流電通過電容器時電壓比電流落後，亦即電流導前於電壓。

【漆】(Paint)

屬絕緣質。

【漆包線】(Enameled wire)

塗有絕緣漆之導線。

【漫反射】(Diffuse reflection)

即漫射。

參閱“漫射 (*Diffusion*) ”條。

【漫射】(Diffusion)

入射線遇粗糙的面，因面上凹凸不平，所以入射線雖互相平行，而反射線卻向各方亂射(如圖 14 — 19);這種反射稱爲漫射或漫反射，漫射的光稱爲漫射光 (*diffused light*) 。一切物體，如桌面、牆壁等，表面雖似平滑，但從各部分細加觀察，就可知道微有凹凸，所以太陽射在其上就成漫射，吾人因得辨別物體的存在。太陽未出水平線前和既沒以後，暫時仍可感覺光明，亦因空中的塵埃和雲等漫射的緣故。

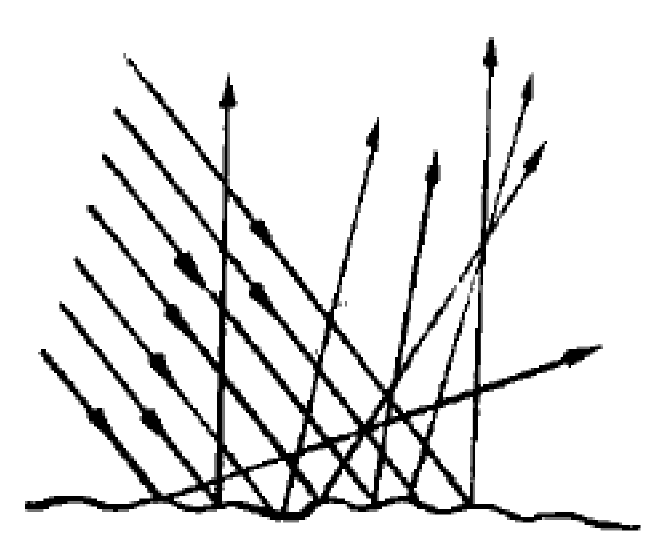


圖 14 — 19

【漫射光】(Diffused light)

詳閱“漫射 (*Diffuse reflection*) ”條。

【漫射光度計】(Diffusion photometer)

又稱岳立光度計。

參閱“岳立光度計（*Jolly's photometer*）”條。

【漫散射】（Diffuse scattering）

漫散射是一種非彈性散射（*inelastic scattering*），X 光的漫散射是研究晶體晶格振動的一種方法。晶格振動或彈性波能量的量子化單元，稱爲聲子（*phonon*），與光子很類似。當一束 X 光子射到某晶體時，該晶體可能從入射的 X 光子取得部分能量而產生一個聲子；有時原在該晶體中的一個聲子，也可能反被入射的 X 光子帶去全部的能量而消逝。總之，經散射後 X 光子的能量改變，這就是非彈性散射。

仿照光子量子化的情形，若一彈性波的波向量爲 $\vec{K}$，角頻率爲 Ω，則一個聲子的動量爲 $\hbar\vec{K}$，能量爲 $\hbar\Omega$（$\hbar = h/2\pi$，h 是浦朗克常數）。依能量守恆

$$\hbar\omega = \hbar\omega' + \hbar\Omega$$

ω 和 ω' 分別爲散射前後 X 光的角頻率。依動量守恆

$$\hbar\vec{k} = \hbar\vec{k}' + \hbar\vec{K}$$

$\vec{k}$ 和 $\vec{k}'$ 分別爲散射前後 X 光的波向量。如果一聲子只從入射的 X 光子取去極小部分的能量，即 $\omega' \simeq \omega$，且 $\vec{k}' \simeq \vec{k}$，則

$$\vec{K} \approx 2\vec{k}\,\sin(\varphi/2)$$

$$\Omega \approx (2v_s\omega n/c)\sin(\varphi/2)$$

式中 φ 是 $\vec{k}'$ 與 $\vec{k}$ 之間的夾角，n 是晶體的折射率，c 是光速，v_s 是彈性波的速率。X 光漫射實驗的主要目的，是在求 Ω 與 $\vec{k}$ 的函數關係，以了解晶體中聲子的譜線。

【漫線系】（Diffuse series）

原子最外層有 1 個、2 個或 3 個電子之原子（H、He^+、Li^{++}…除外）的光譜，包含一群重疊光譜線系，其中類似巴耳麥系（*Balmer series*）者具有下列的頻率：

$$\nu = \frac{R}{(a+c_1)^2} - \frac{R}{(n+c_2)^2}$$

式中a、c_1、c_2爲原子與線系的特性常數，R是原子的芮得柏常數（Rydberg constant），總角量子數n是整數，且$n>a$，總角量子數從0至1（$S \to P$）的線系稱爲銳線系；從1至0（$P \to S$）的線系稱爲主線系；從2到1（$D \to P$）的線系稱爲漫線系；從3到2（$F \to D$）的線系稱爲基線系。這些線系的名稱，用下列符號代表：

銳線系　$L=0$，S

主線系　$L=1$，P

漫線系　$L=2$，D

基線系　$L=3$，F

【滲透作用】（Osmose；Osmosis）

以膠皮膜或素燒磁等，間隔兩種液體，則見其漸透過而互相混和，是謂滲透作用。亦即穿過半透膜之擴散現象。實驗時，用無底之瓶，張一膠皮膜作底，其中充滿砂糖之溶液，而以貫細玻璃管之木塞塞於瓶口，將瓶立於盛水之器中，稍待之後，糖液滲出器外，水滲入糖液中，此時瓶外之水滲入糖液中之量多，而糖液滲出瓶外之量少，由是見瓶內之液，漸上升於瓶中。砂糖、食鹽等結晶體之水溶液，能通過隔膜，而糊狀、膠狀等非結晶體則不能通過。

又滲透之現象，日常所見者甚多，如穀類浸於水中則膨脹，植物從其根部吸收養分，動物體內之養分，透過薄膜而入於血液中，皆是滲透作用。

【滲透壓】（Osmotic pressure）

滲透所生之壓力，稱爲滲透壓力。利用使溶液中溶劑通過，但不使溶質通過的半透物質作成一固定的障壁，並在其兩側分別放置溶液和純溶劑，則溶劑的一部分能進入溶液內而達成平衡。此時兩側的溫度相等，

但由於半透壁的被固定，壓力不能相等，其壓力差稱為該溶液的滲透壓。溶液的滲透壓當濃度不太大時，與濃度及絕對溫度成正比，而與純溶劑的壓力幾乎無關。此關係最初為皮非佛（*Pfeffer*）所發現，後凡特荷夫（*Van't Hoff*）由熱力學導出。照凡特荷夫理論，滲透壓P在稀溶液時等於

$$P = RTc$$

式中R為氣體常數，T為絕對溫度，c為單位體積中的溶質克分子數。

【熔合】（Fusion）

當核子分裂時，重原子核分裂成較輕的小塊，而釋放出能量。但是在核子熔合時，極輕的元素的原子核連繫在一起而釋放出能量。為了要使這種連繫或者熔合發生，原子核必須以非常高的速度碰撞以便能克服相互之間的靜電排斥力。具有高核子電荷的元素增加了強排斥的或然率。因此，選擇熔合燃料主要的考慮是，它是否具有較低的核子電荷。

氫是所有元素裏原子序最小的，因此用它做為熔合實驗的原料是非常適宜的。氫也是星球的燃料，不過在星球上，具有巨大無比的強磁場。氫的慢慢熔合的速率並沒有什麼問

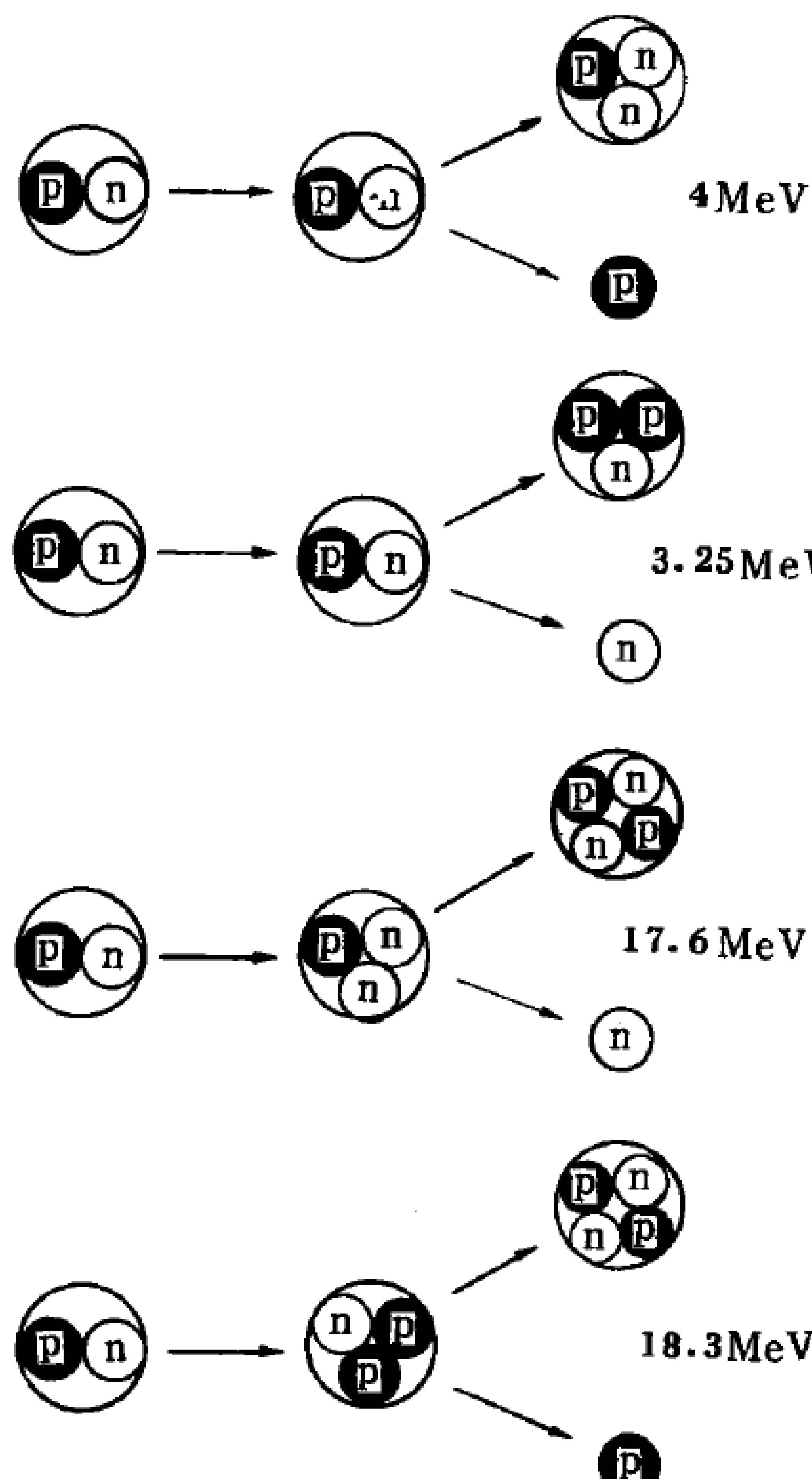


圖 14 — 20　熔合反應

題，但在實驗室裏它卻成了問題，因爲所有的環境因素都改變了。氫有二種同位素，氘（*deuterium*）和氚（*tritium*），它們比氫熔合速率還快。

在6,000個氫原子之中有一個氘存在，而在自然界中氚並不存在，必須要用人工製造。儘管在使用氘時所需要增加的步驟，它是目前非常迫切需要的燃料。

有四種熔合反應（如圖14—20）是研究者最感興趣的，它們是

1. $D + D \rightarrow {}^3He + n + 3.25MeV$
2. $D + D \rightarrow T + p + 4.0MeV$
3. $T + D \rightarrow {}^4He + n + 17.6MeV$
4. ${}^3He + D \rightarrow {}^4He + p + 18.3MeV$

（上列四式，D代表氘，T代表氚，n代表中子，p代表質子，${}^3He$及${}^4He$分別是氦－3和氦－4）。第三式指出了熔合反應是如何發生的。

【熔金屬萃取】（Molten-metal extraction）

從熔融金屬混合物中，分離其中一種金屬的方法。

【熔度】（Fusibility）

各種金屬受熱熔化之溫度規定值。

【熔解】（Fusion;Melting）

固體受熱，溫度升至一定時，則漸次變爲液體，此現象謂之熔解，或稱融解。如冰遇熱則熔解成水；又如鐵一類的金屬，如果加上高溫的熱，也會熔解成液體。

【熔解曲線】（Fusion curve）

在平常壓力下，壓力增加一大氣壓，冰之熔解點僅下降0.0075℃。如圖

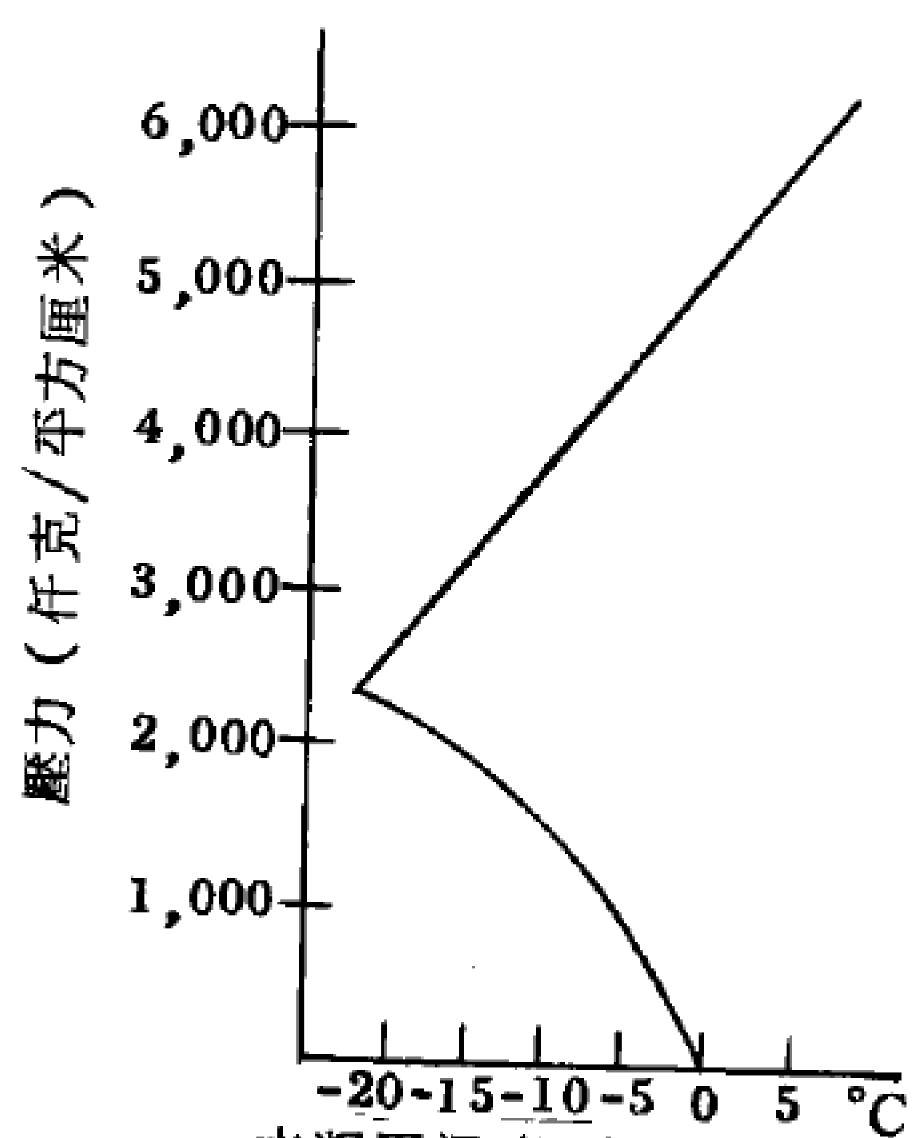


圖14—21

14—21之曲線表示水與冰平衡時，其溫度與壓力之關係，此種曲線稱爲熔解曲線。

【熔解電流】(Fusing current)

能使保險絲熔斷的電流。

【熔解熱】(Heat of fusion)

取冰數塊盛於玻璃杯中，插入溫度計，見爲0℃，逐漸加熱使冰熔解，溫度並不升高，必待冰完全熔成水後溫度方增。

可知冰塊當熔解時，必吸收熱量，故雖加熱而溫度不升。凡一克物質在熔點完全熔成同溫液體所需的熱量，稱爲該物質的熔解熱。吾人可用上述的混合法，求得冰的熔解熱爲80卡，比別的固體都大。重要物質的熔點和熔解熱見下表。

物　質	熔點（°C）	熔解熱（卡）	物　質	熔點（°C）	熔解熱（卡）
氫	−259		汞	−39	3
氧	−235		冰	0	79.8
酒　精	−112.3		錫	23.9	14
鉛	327	5	銅	1,083	43
銀	960.5	22	鉑	1,755	27
金	1,063				

【熔點】(Melting point；Fusion point)

固體開始熔解時的溫度稱爲熔點。平常冰的熔點爲0°C，如冰這種晶體固體，加熱到熔點，就開始逐漸熔化，直至全部熔爲液體爲止。在沒有全部熔盡以前，其間雖仍然不斷加熱，但冰和水的溫度始終保持在熔點，不會上升。這段時間內，物質所吸收的熱量都用在改變形態上。純物質的熔點，隨種類而不同，但各自的熔點是一定的。

通常在壓力爲一大氣壓時的熔點稱爲該物質的熔點。在一定壓力時

，晶體物質的熔點爲一定，但隨著壓力的變化，熔點也變。熔解時體積會膨脹的物質，其熔點隨著壓力的增加而升高；反之，體積收縮的物質，熔點隨著壓力的增加而降低。以有限速度熔解時，物質的溫度通常比熔點高些。非晶物質（*amorphous substance*），如玻璃、蜂蠟等，則無明顯的熔點。

【熔鹽反應器】(Fused-salt reactor;Molten salt reactor)

以熔融的鈾鹽爲燃料和冷卻劑的反應器稱爲熔鹽反應器。此等反應器之特點乃燃料爲液態的。導出熱量的流體可能是燃料混合體本身，或另一鹽類或金屬之熔融液體。

至今此族系反應器已建造者僅爲實驗性航空反應器（*aircraft reactor experiment*；*A.R.E.*）一座。緩速劑並非石墨而爲大塊鈹（*Be*）之氧化物；燃料爲UF_4，ZrF_4，NaF混合物，而以熔融鈉傳出熱量，在橡樹嶺建造此反應器，於1954年曾操作一短暫時間。

而第二座示範器以石墨緩和亦建於橡樹嶺。即實驗性熔鹽反應器（*molten salt reactor experiment*；*M.S.R.E.*）在1965年六月開工。燃料保持650°C，其成分依分子數爲65^7LiF、29BeF_2、5ZrF_4及1UF_4（鈾已濃集爲35%），此外再用釷（*Th*）製成ThF_4摻入，可望利於增殖反應。熱交換流體爲鋰（*Li*）及鈹之氟化物混合體。

在德國徐黎士（*Jülich*）中心之研究家，使用一熔鹽緩慢中子反應器（*molten salt epithermal reactor*；*M.O.S.E.L.*），目標在研究如何處理在作業循環中及在反應器內之輻射性燃料，關於燃料的增殖問題，此燃料乃將鈾及釷之溶體溶和在熔融氟化物中。此器由一"爐心"及一"外皮"組成，前者由後者冷卻之，壓力爲10～15 *atm*。

此型反應器有困難，尤其是侵蝕問題嚴重。雖以增殖爲課題，但發展可能性似乎不大。

【熄滅電壓】（Extinction voltage）

燈達燃點電壓開始照耀後，將電壓降低，但燈並不熄滅，仍然照耀著。等電壓逐漸降低到某一值之後燈才熄滅，此電壓稱爲熄滅電壓。

【爾格】(Erg)

在*C.G.S.*制中功和能量的單位，等於穩定的一達因力，沿其作用線生成一厘米位移時所做之功。

$$1\text{ 爾格} = 1\text{ 達因厘米} = 1\text{ 厘米}^2\text{ 克秒}^{-2}$$

因爲 1 牛頓 = 10^5 達因，1 米 = 10^2 厘米，故

$$1\text{ 焦耳} = (10^5\text{ 達因})(10^2\text{ 厘米}) = 10^7\text{ 爾格} = 0.7376\text{ 呎磅}$$

【瞄準角】(Angle of sight)

拋體合位移與鉛垂線間之夾角。

【瞄準誤差】(Aiming error)

α 質點入射時之原飛行方向線與原子核中心的垂直距離，稱爲瞄準誤差。

【碰撞】(Collision ; Impact ; Encounter)

自由質點間、質點組之間，或剛體之間，相距甚近而足以互施影響時（通常伴有能量的交換）的交互作用，謂之碰撞。

例如，用一個質子撞擊一中性原子，當質子極靠近原子時，靜電力才開始發生作用，它們的運動狀態也因之發生極大的改變；在這種碰撞裏，入射的質子與原子產生很強的交互作用的範圍大約等於原子的大小。又如一彗星行近太陽時其路徑將發生彎曲，這也是一種碰撞問題。有時用散射（ *scattering* ）一詞，以指最後質點與起始質點相同之碰撞。

在這交互作用中，不一定有通常觀念中的接觸。碰撞過程中，動量總是守恆的，而且在完全彈性碰撞時，還有機械能的守恆；這些都是處理這種過程的重要依據。

然而某些碰撞，最後質點（或系統）並不必與最初者相同。例如電

子與質子碰撞，最後產物可能爲一氫原子；原子A與分子BC碰撞，最後結果可能爲分子AB與原子C，事實上許多化學反應的發生都是如此。

因碰撞只有內力作用，動量及總能量二者均爲守恆。設$\vec{p}_1$及$\vec{p}_2$爲碰撞前質點之動量，$\vec{p}_1'$及$\vec{p}_2'$爲碰撞後質點之動量，由動量守恆可得

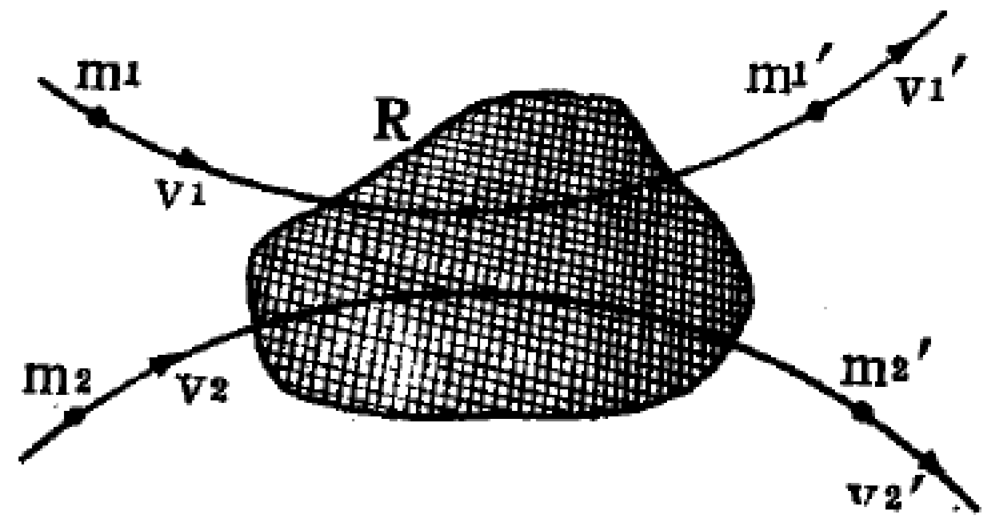


圖 14 — 22
在實驗室參考系所看到的一般的碰撞情形

$$\underbrace{\vec{p}_1' + \vec{p}_2'}_{後} = \underbrace{\vec{p}_1 + \vec{p}_2}_{前} \qquad (1)$$

碰撞前後之動能可寫爲

$$E_k = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2} \text{（前）}$$

及

$$E_k' = \frac{1}{2}m_1'v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2'v_2'^2 = \frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2} \text{（後）} \qquad (2)$$

碰撞前質點之內能爲U_{int}，碰撞後由於內部重新排置，內能可能改變，設爲U'_{int}，由能量守恆得

$$\underbrace{E_k' + U_{int}'}_{後} = \underbrace{E_k + U_{int}}_{前}$$

若碰撞時位能改變，則動能亦改變，茲介紹一量Q，通常稱反應或碰撞之Q並定義爲

$$Q = E_k' - E_k \qquad (3)$$

因此Q等於最後動能與起始動能之差，當$Q=0$，動能無變化，則稱此碰撞爲彈性，否則稱非彈性。當$Q<0$，質點動能減少，對應有一位能增加，則稱有第一類非彈性碰撞（或吸能）。當$Q>0$，質點動能增加，位能損耗。當然，損耗量必等於增加量，此稱有第二類非彈性碰撞（或放能）。聯立（2）式及（3）式，可寫爲

$$\underbrace{\left(\frac{p_1'^2}{2m_1'}+\frac{p_2'^2}{2m_2'}\right)}_{\text{後}}-\underbrace{\left(\frac{p_1^2}{2m_1}+\frac{p_2^2}{2m_2}\right)}_{\text{前}}=Q \qquad (4)$$

(1)式及(4)式已足可完全解決碰撞問題。碰撞時不但能量與動量守恆，而且角動量亦守恆。

【碰撞平均自由途徑】(Collision mean free path)

碰撞平均自由途徑，爲一氣體分子於多次碰撞所行之平均距離，以 l 表示之。平均自由途徑之計算，可於一充分長久的時間內，盯住(緊隨)一分子，測得其連續碰撞所行途徑的平均長度。或者於一特定時刻，觀測恰好剛遭遇過碰撞的許多分子，求得這許多分子於次一碰撞時，所行距離之平均值。此二法統計上是相同的。

【碰撞參數】(Collision parameter ; Impact parameter)

像原子大小的粒子之間，經常發生碰撞，下面定義的參數即是用以描述此類現象。例如假想在玩三維空間的撞球遊戲，所有撞球都在繼續不斷散亂運動，假如兩個撞球相互靠近至其中心距離小於兩者半徑的和 (r_1+r_2) 時，就會發生碰撞。

【碰撞游離】(Ionization by collision)

碰撞游離即具有高速度之荷電體，能自與其相撞之分子及原子中擊出電子，因而產生自由電子之過程。至於與其相撞者爲可自由移動之分子，抑爲固定於一物體之表面者，則無足輕重。

【碰撞寬展】(Collision broadening)

像廻轉輻射的譜線中，由於其他粒子對輻射體的碰撞而干擾碰撞過程，使輻射譜線加寬。在廻轉輻射的情形，碰撞會改變輻射的相位。經多次碰撞時，其效果則是使觀測到的頻率加寬，其量等於碰撞頻率(*collision frequency*)。

【碰撞截面】(Collision cross section)

兩個行進的撞球其相互重疊的面積是半徑爲（r_1+r_2）之圓的面積，兩個球互相碰撞的可能性與此面積成正比，此面積稱爲相互碰撞截面積。對於原子間的碰撞，直接接觸以外的作用力可使碰撞截面大於或小於粒子的實際大小，粒子更出人意料者是此截面積的大小與二粒子的相對速度有關，此時碰撞截面的觀念仍屬有效，且可以二粒子間相對速度的函數量度之。從這個基本定義，可定義其他有用的參數。

【碰撞機率】（Probability of collision）

粒子行經單位長度時，掃過的有效體積等於其截面積乘以單位長度，在此長度內，粒子的平均碰撞次數等於在此體積內的其他粒子數，此碰撞數等於碰撞截面乘以粒子的密度。因此碰撞機率不是眞正的機率，只是單位長度內的平均碰撞次數。

【碰撞頻率】（Collision frequency）

常以Γ表示，爲一分子於一單位時間內，遭遇碰撞之次數。平均自由路程（*mean free path*）與碰撞頻率具有密切關係，若設 v_{ave} 爲分子之平均速度，兩碰撞間所歷時間爲

$$t=\frac{l}{v_{ave}}$$

而單位時間之碰撞次數，即碰撞頻率Γ爲

$$\Gamma=\frac{1}{t}=\frac{v_{ave}}{l}$$ （碰撞頻率Γ以 S^{-1} 爲其單位。）

【碳－14】（Carbon－14）

核分裂產生的放射性核種，除鍶（*Sr*）、銫（*Cs*）和碘（*I*）之外，對人體產生的內輻射曝露並不重要。但是核爆炸產生的中子能活化元素，使其變成放射性核種。在這些核種中，碳－14（半衰期大約5,800年）是最重要的。碳是生物組成的重要元素，每一種生物體內的化合物無不與碳有關。在早期由於宇宙線的照射，碳－14已在大氣中等

速率的產生。碳－14與氧化合變成二氧化碳，被植物的光合作用(*photosynthesis*)吸收，因此碳－14就進入所有的生物體內。

大氣、地球上的生物層、肥沃的土壤、海洋表面的水及海洋深處的水皆為碳的儲藏庫。碳以不同的速率在這些儲藏庫間移動。一個二氧化碳的分子，可能在幾年之內從大氣中降至地面；但是一個碳原子要從海洋深處傳遞到大氣中，則需1,000年左右。假如我們要了解碳－14的移動情形，則必先知道碳在這些儲藏庫中移動的速率。

測量對流層中碳－14的量，便可推知其在人體中的量。在人體中碳－14的放射性比度(全部碳中所含碳－14的量)，可能大約比在大氣中落後一年。因為植物吸收了碳再變成人類的食物需要一段時間之故。

1965年核子試爆，使得碳－14的量大約為平常的2倍。這些增加的碳－14，有70%到100%在7年或8年內降至60%，2,040年後降至3%。

截至目前為止，碳－14是最廣泛被用來測量地質年代的方法。它已經成為考古學和地質學研究發生於50,000年前的事件的主要依據。它在氣候學、生態學和地理學上也被廣泛的利用著，但是使用此方法最有意義的例子不易尋得，在研究北美的早年居民上，它有非常重要的貢獻。

【碳－14定年】(Carbon－14 dating)

以慢中子撞擊氮，產生放射性碳 $^{14}_{6}C$

$$^{1}_{0}n + ^{14}_{7}N \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H \qquad Q = 0.6MeV$$

放射性碳衰變時發射電子

$$^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + e^{-} + \nu$$

宇宙射線中含有次級熱中子，與大氣中的氮反應而生成放射性碳，產生的碳原子受氧化作用而變成浮在空氣中的二氧化碳。由於放射性碳不斷的產生及衰變，故在地球大氣中達到平衡狀態。植物經過光合作用

吸取空氣中的二氧化碳，一部分的放射性碳就變成植物組織，所以所有地面上的植物都有著少許的放射性。當植物死亡後，光合作用停止，吸取空氣中浮著的放射性碳的程序也停止。當植物生長時由於化學平衡的關係，其體中所含的放射性碳分量為一定。植物死亡後，沒有新的放射性碳的供應，故其體中之放射性碳隨時間的增加而遞減。碳 - 14 之半衰期為 5,730 年，它的蛻變可延長到幾萬年，如經過 22,800 年後，放射性碳還可存在原有的$\frac{1}{4}$的分量。所以測量出植物生長時其中含 ^{14}C 及 ^{12}C 之比例作為標準，再把古老植物的標本中之 ^{14}C 及 ^{12}C 之比例量出，即可算出古老植物的年紀。人類自飲食中，也吸入一些放射性碳的元素，情況同植物一樣，所以利用碳 - 14 之計時法，亦可估計出一個古老的骨架或人頭骨，估計出它生長在距今多少年代之前，這是放射性碳在考古學中求證年代的方法，稱為定年。

【碳式微音器】(Carbon microphone)

碳式微音器的構造是用一只小金屬(或碳質)盤子，在盤底上緊貼一塊金屬片或碳片。盤子裏面裝滿了小碳粒，上面用一片絕緣而有韌性的雲母片封住盤口。雲母片裏面緊貼一塊比金屬盤口小而不和盤子接觸的金屬片，具有電極的作用；另外以一塊極薄的膜片，和此一電極相連。整個結構的體積很小，如一粒鈕子，所以普通稱為碳鈕。圖 14 — 23 為一單鈕 (*single button*) 碳式微音器，碳鈕與直流電壓和微音器輸出變壓器的原線圈 (*primary coil*) 接成串聯。

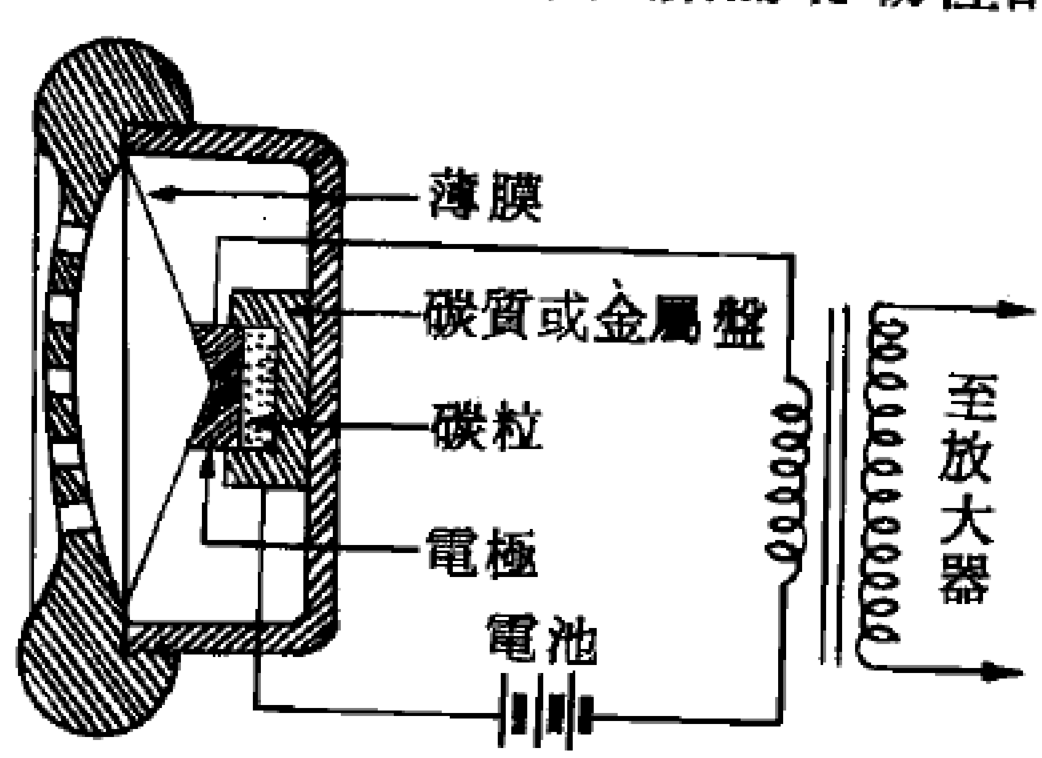


圖 14 — 23　碳式微音器的構造

在沒有音波時，膜片靜止，盤中的碳粒也靜止，盤子與電極中間的碳鈕電阻就沒有變化，因此在這一串聯電路中的電流，即為由靜止的直

流電流（*direct current*），原線圈不會使次線圈（*secondary coil*）產生感應電流（*induced current*）。當有音波壓力使膜片振動時，膜片牽動電極前後振動，使碳粒所受的壓力發生變化。即空氣壓力增加時，薄膜向後移，碳粒被壓縮，電阻減低，流過其中的電流即隨著增加；空氣壓力減小時，薄膜向前移動，碳粒所受的壓力減小，電阻增高，電流也隨著減少。如圖 14 — 24 所示，電路中電流的變化，是與音波的壓力變化相同的。這一變化使次線圈的電流亦感應變化，此即聲能變為電能的一個過程。

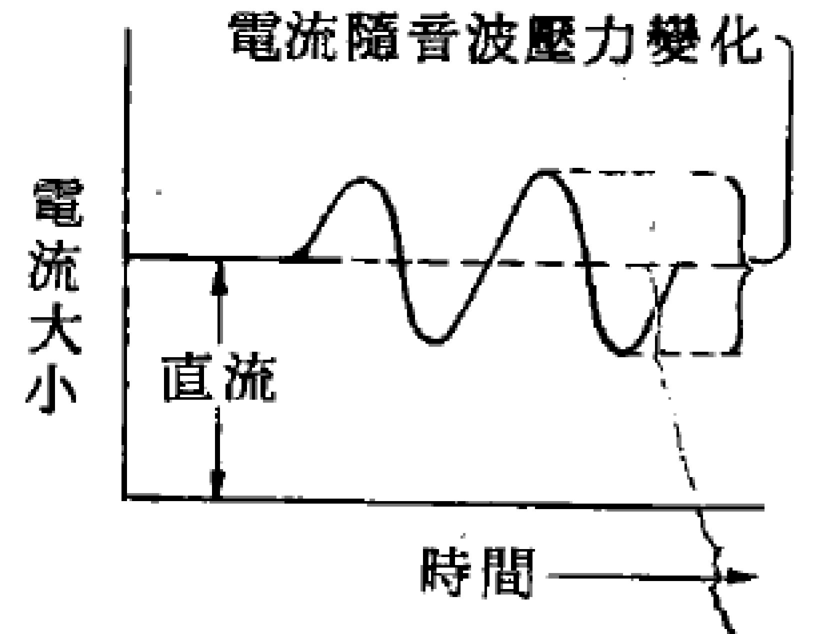


圖 14 — 24
碳式微音器的電流隨音波壓力而變化

碳式微音器亦有用二個碳鈕分列在膜片的二面完成工作的，稱為雙鈕（*double button*）碳式微音器。其動作的原理與單鈕式的完全相同，只是當音波使膜片振動時，使這面的碳粒壓緊，那面的碳粒放鬆，交替隨著音波作相反的阻力變化。即這一面的電流增加，另一面的電流減低，工作的情形和推挽式（*push pull*）相仿，也就是利用推挽作用補救音頻的諧波失眞。雙鈕碳式微音器的電路圖如圖 14 — 25 所示。其變壓器的原線圈也是推挽式的，二段的電流相等方向相反，所以在靜止時初級沒有磁場（*magnetic field*），只有在二個碳鈕的電阻發生變化時，才能使次級產生電流，所產生的電流也因初級有二段相抵的作用而較小。但是其輸出雖是較小，卻減低了諧波失眞，故較單鈕式為佳。

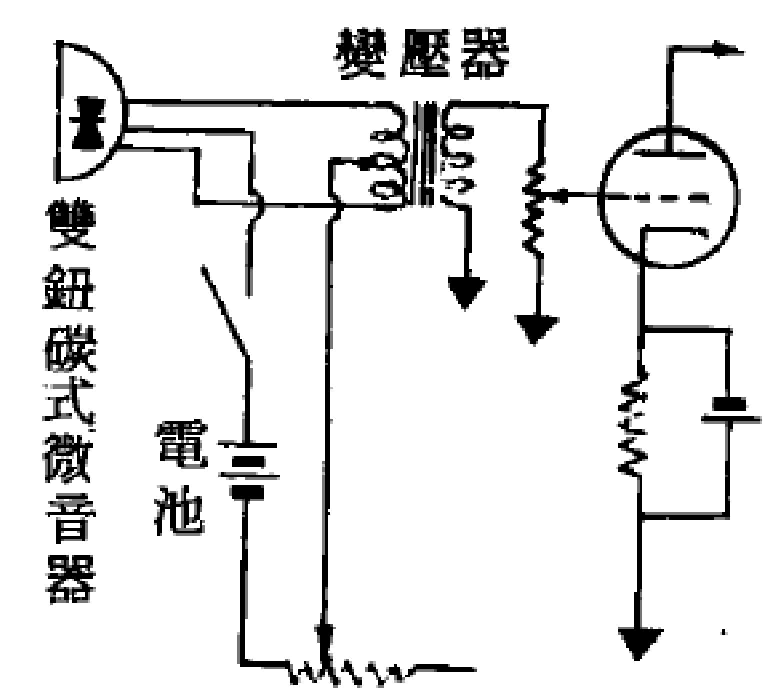


圖 14 — 25
雙鈕碳式微音器的電路圖

碳式微音器的輸出高，可以直接接至電力靈敏度較高的低電力放大管，但因受機械條件的限制，碳粒的阻力使膜片振動時，不能和音波的

波形相同，因此音頻響應只有在 500～3,000*Hz* 中間較佳，但其失真度很大，而諧波的失真度尤為顯著。因此只宜用於傳遞語言，卻不宜於傳遞音樂。其次它在機械構造上有下列各項缺點：

1. 使用時由於直流電通過碳粒，因碳粒的接觸發生細微火花，會有嘶嘶的雜音產生。如將音源靠近微音器，雖可利用信號掩飾雜音，但是太強的音波振動，會使失真度加大。雙鈕式的因有推挽作用，可以略為補救此項缺點。

2. 盤子內的碳粒仍有相當的活動餘地，因此微音器的裝置地位，影響碳粒的聚集，表現的效果也不同。

3. 碳粒亦要避免受潮，否則互相黏結，一方面減低靈敏度（*sensitivity*），一方面增加失真度及雜音。

4. 使用時不能搖動或震動，使碳粒活動而產生雜音及失真。必要時須用彈簧懸掛。

【碳阻】（Carbon resistor）

以碳粉製成管狀的電阻。

【碳刷】（Carbon brush）

石墨等媒介物所製成的刷。

【碳弧燈】（Carbon arc lamp）

碳弧燈為高輝度的點光源、白色光源、紅外線光源、紫外線光源等，為一時常被利用的光源。

普通形式的碳弧燈，使用直徑約 1 厘米的碳棒，為交直流電兩用。在實驗室內使用，常以直流電點燈，使用較粗碳棒為陽極棒以水平方向安裝，並以鉛直方向把陰極棒安裝於陽極棒上側，利用陽極的火坑為光源（如圖 14－26）。

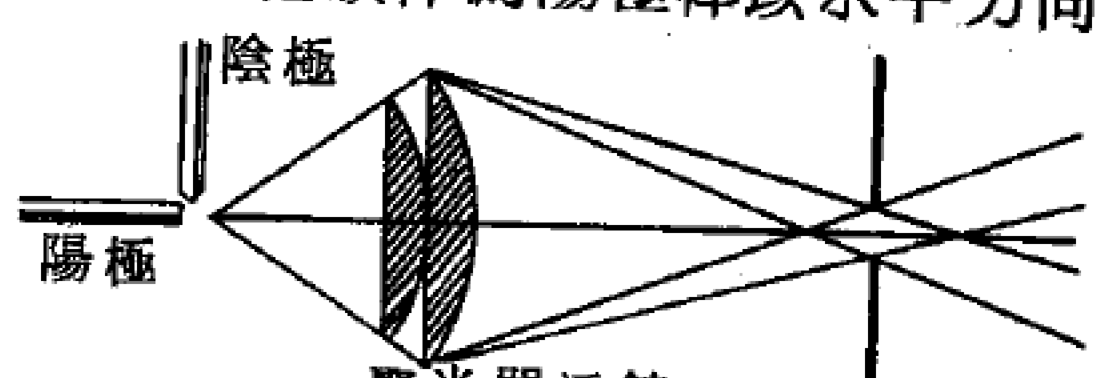


圖 14－26 碳弧燈的光學系

因碳棒的電阻有負的溫度係數

，使用時必加電阻器。碳弧燈的缺點爲碳棒消耗大，且光束不穩定。因此應使用附有自動調節裝置的弧燈外，使用滲透無機鹽類的碳棒，使火焰有導電性。如在碳棒（陽極）中心裝氟化鈽與氧化鈽的混合物，其蒸氣則變爲光源而得色溫度 5,500°K～6,500°K，光度 100,000 cd，照度 100,000cd/cm^2 程度的光源。

【碳粒】（Granular carbon）

單鈕及雙鈕的微音器，膜片隨聲音變化而振動時，此振動力施於碳粒上，通過碳粒的電流就變爲聲音電流，將聲音振動改爲電流變動，完全得力於碳粒的鬆緊，改變阻力的作用。

【碳循環】（Carbon cycle）

太陽及星球產生能量的熱核反應，除質子、質子反應外，另一重要反應就是碳循環，亦稱爲碳、氮循環。這種反應循環的過程如下：

反　應	平均反應時間
${}^1_1H + {}^{12}_6C \rightarrow {}^{13}_7N + \gamma$	10^7 年
${}^{13}_7N \rightarrow {}^{13}_6C + e^+ + \nu$	7分（半衰期）
${}^1_1H + {}^{13}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + \gamma$	2×10^6 年
${}^1_1H + {}^{14}_7N \rightarrow {}^{15}_8O + \gamma$	3×10^8 年
${}^{15}_8O \rightarrow {}^{15}_7N + e^+ + \nu$	2分（半衰期）
${}^1_1H + {}^{15}_7N \rightarrow {}^4_2He + {}^{12}_6C$	10^5 年

將以上反應相加，消去左右兩端的相同項，即得淨效應爲

$$4\,{}^1_1H \rightarrow {}^4_2He + 2e^+ + 3\gamma + 2\nu + 26.7MeV$$

六次反應的最終結果是將四個氫原子核變成一氦核，加上二正電子，三 γ 射線和二微中子，同時釋出總能量 4.0×10^{-5} 爾格。在反應循環完成後，${}^{12}_6C$ 原子核並未改變，其作用有如催化劑。圖 14—27 示此循環的反應情形，這些反應發生於太陽的中心，此處有極高的溫度，使在中心處所有原子均成離子。質子、質子反應和碳循環都是聚變反應，僅在

極高溫度和壓力的狀況下，才能不斷地發生。太陽內部的溫度，估計約爲 2×10^6 °K，發生質子、質子反應有極大的機率。一般言之，在高溫時碳循環較有效，低溫時質子、質子反應較有效。故比太陽更熱的星球，其能量主要由碳循環而來，比太陽溫度低的星球，其能量大部分由質子、質子反應而來。1906 年生於法國現已入美國籍的貝特（*H·A·Bethe*）於 1938 年首倡碳循環的理論，以解釋太陽和星球等的能量來源，因而獲 1967 年的諾貝爾物理學獎。

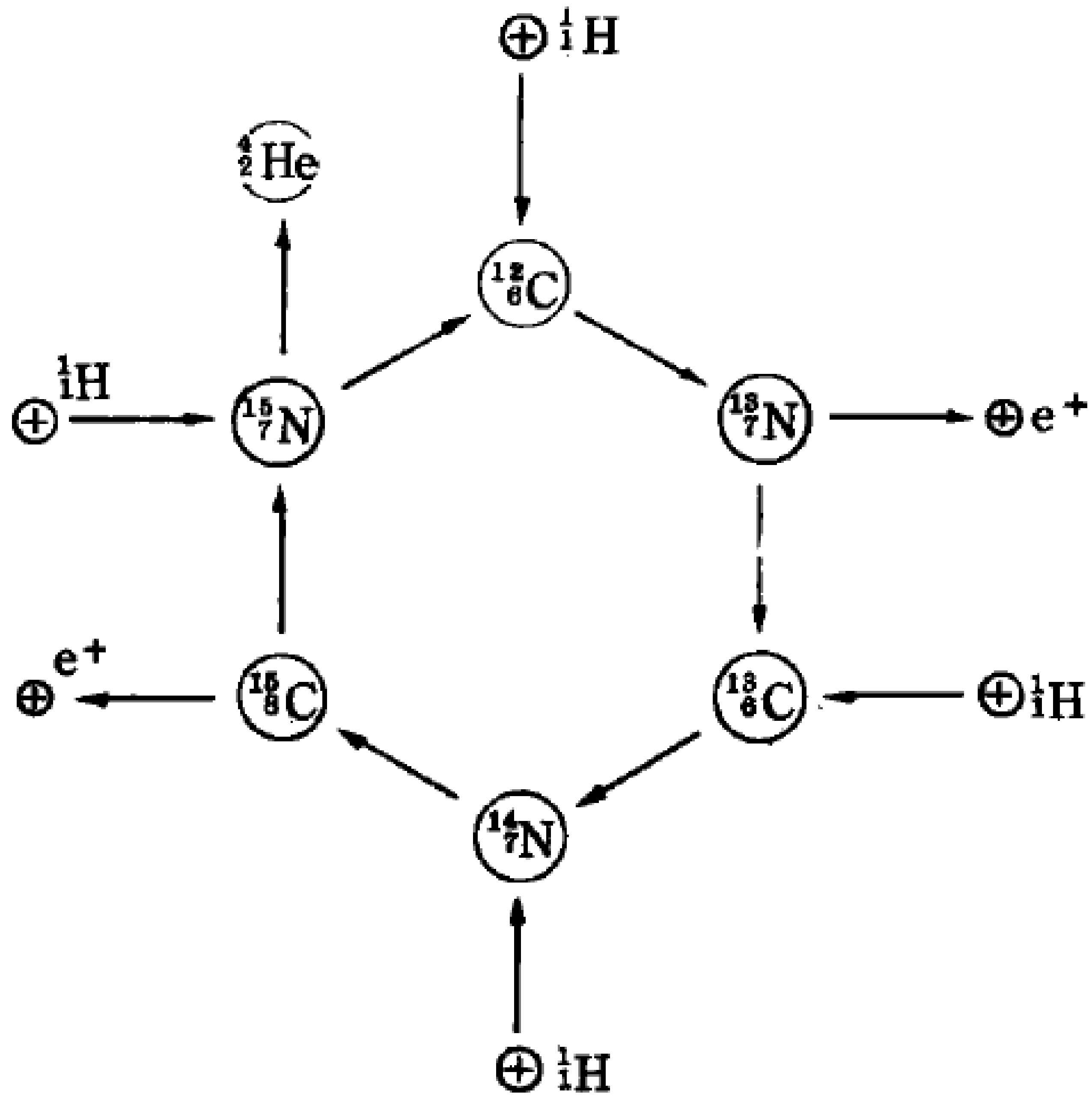


圖 14—27

【種】（Species）

某一種特別的原子核、原子、分子或離子；一個核種。

【種籽圍包核心】（Seed and blanket core）

一種反應器之核心，它包括體積較小的高濃化鈾（即種籽），這些種籽的外圍又有體積相當大的釷或天然鈾（稱爲圍包）。當種籽內產生分裂，供應一部分分裂中子給圍包，使中子在圍包內產生更多的分裂。因爲圍包內分裂發生較繁，所以它產生的功率佔全功率的大部分，也稱爲加強核心。

【端鈕】（Terminal）

這是保證對導線實現電氣聯接的聯接裝置。在實際工程中，一般地提到儀器端子或網絡的端子時，這個名詞的含意很廣泛。如常說“儀器端子上的電壓”，“聯接到網絡的端子上”等。

【管內電勢降】(Tube voltage drop)

指屏陰間之電勢差。

【管形電容器】(Tubular capacitor)

一種紙質或電解質電容器，其外形爲圓形，兩端接引線。

【管制單元】(Control unit)

計算機中的一個單位，從事管制算術的與邏輯的運算，和資料的轉移。

【管座】(Socket)

將電子管的管腳(電極)與管外連接的插座。以八腳座最爲普遍。

【管套】(Envelope)

電子管之玻璃或金屬套。

【管腳】(Pin)

電子管代替電極的接腳。

【管腳接法】(Pin connection)

管腳接法之類型很多，有 *NC* 不接、*IS* 內部隔離、*IC* 內接、*P* 屏、*G* 柵、*SG* 簾、*K* 陰極、*H* 給熱體、*F* 燈絲、*RC* 射線控制電極、*TA* 檔屏等。

【管傳聲】(Transmission through tubes)

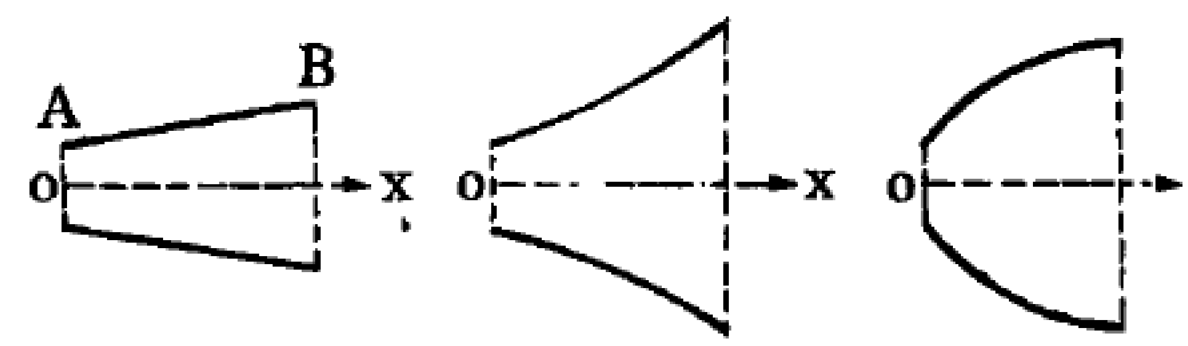
氣柱在管中振動能產生駐波 (*standing wave*) 而發出各種諧音，但細長的管常在產生駐波以外，兼具有爲其他發音體傳播音波的作用，聲學 (*Acoustics*) 上許多的問題，如聲音的形成、放大及收聽等，均與管傳聲有關。管傳聲在實際應用上亦頗爲廣泛，如聽診器、濾聲器 (*acoustic filter*) 、喇叭 (*horn*) 及聲音強度的測定等。管傳聲問題甚爲複雜，現分三項介紹其概念如下：

1. 管長影響——音波被導入於圓管內，其波形首先按管長而變化。若管甚短，則在離音源較遠的一端發生反射波，與原音波合併，成爲複雜的駐波。但若管很長，反射波因各種阻滯力 (*damping force*) 而消逝，則可視爲僅有一波單向進行。

2.管斷面影響——音波在管內傳送，若管的斷面改變，則音波的總能量因分配的截面積大小不同而改變，因此而改變音波的強度。管的斷面如有突然改變，則因此一截面二邊的介質情形不同，有反射波產生。通過此一突然改變的斷面的強度，亦會隨之改變。

3.管邊開孔——管邊開孔，由於孔內空氣的慣性作用而產生反射；同時這些孔又爲管中約束的空氣與管外無約束空氣的交界面。因此這些孔的物理作用是截去傳遞，尤其對於各種不同的頻率，產生一種濾聲器的作用，即因管與孔的各種尺寸，而對某一頻率有減弱爲零的作用。

喇叭在聲音的傳遞上頗爲重要，任何具有一定長度的管均可稱爲喇叭，但習慣上所稱的喇叭是指管的斷面不斷變化者。喇叭的主要型式有三種（如圖 14—28）：(1)爲圓錐形喇叭，(2)爲指數線形喇叭，(3)爲拋物線形喇叭。



(a)圓錐形　(b)指數線形　(c)拋物線形

圖 14—28　喇叭的形狀

喇叭的作用與音波的共振特性有關。喇叭的起端常比較小，因此由於管壁的反射，形成音波的焦集現象。而這一焦集現象的大小，則隨音波的頻率而不同。喇叭因能使音波產生焦集現象，所以能增加所傳遞音波的強度。

【管線】（Pipe line）

一根長金屬管的同心線。

【管樂器】（Pipe instrument）

利用流動的空氣柱振動發音，音調的高低，隨空氣柱的長短而定。笙、簫、笛等都是管樂器，例如笛上鑿有若干小孔，關閉小孔，可吹出不同的音調。

【箔靜電計】（Leaf electrometer）

箔靜電計的構造，將金屬棒的上端裝金屬圓板，下端處裝金屬箔（如錫箔、金箔等），把此金屬棒（如圖 14—29），裝置於玻璃瓶（或

金屬箔如圖14—30）在瓶口處利用軟木或合成樹脂為絕緣體。

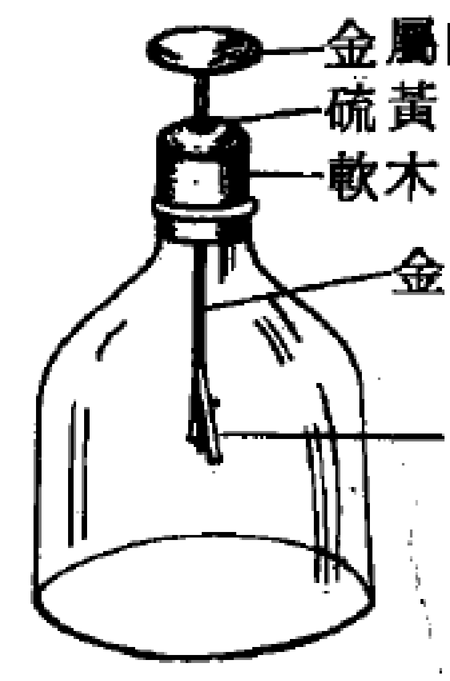


圖 14 — 29

金屬部與地球絕緣，把帶電體移到金屬圓板上方附近，則由靜電感應作用，在圓板上產生異種電，而在箔上產生同種電，由箔展開的情形可以知道帶電的有無與大小。箔靜電計的用途為：

1.觀測是否有帶電，是正或負載電及帶電量的大小。

2.如何能讀取箔展開角度的大小，則可當做內部電阻很高的電位計使用。

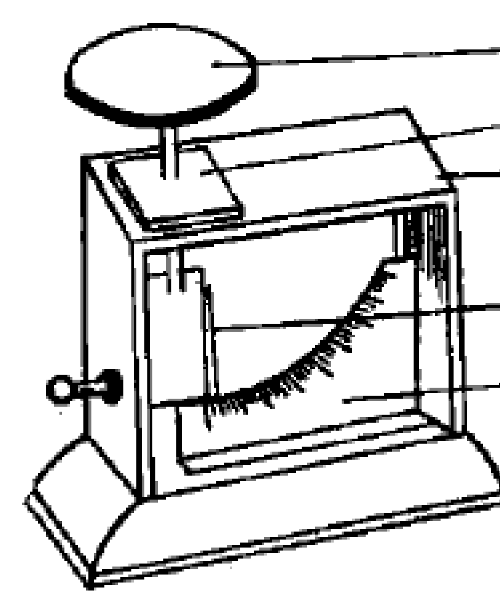


圖 14 — 30

【算術元素】（Arithmetic element）

在計算機上運作算數的部分元素。

【算術平均數】（Arithmetic mean）

有一組數字之總和除以個數，即為此數字之算術平均數。即

$$算術平均數 = \frac{\sum_{i=1}^{n} ai}{n}$$

【算術數列】（Arithmetic progression）

或稱等差數列。一數列

$a，a+d，a+2d，a+3d$……

其中 a 代表第一項的值，d 是連續項的差。

【精密天平】（Precise balance）

精密天平是由天平桿以及掛在兩端之二等重秤盤組成。天平桿在中央受到支撐，故其作用就如同一個兩臂相等的雙臂槓桿一樣。準此，只當兩秤盤的負荷相等時，天平桿始能取得平衡。至於天平桿的重心 S 則必

須置於支點之下，才能使天平桿處於穩定平衡，並且能夠搖動，直至其取得靜止位置為止。為了便於觀察天平桿的偏差起見，在桿之中央裝有一個垂直向下的所謂秤舌，秤舌尖端可在一刻度標尺面前擺動。為了避免氣流影響天平之調節起見，此種天平必須裝置在密閉的玻璃盒中才行。秤盤係利用一種三角缺口形的座承頂掛在秤桿兩側的堅硬刀口上，而秤桿本身也是棲息在這種刀口上面。所有這三個刀口必須準確地互相平行，並且是位於同一個平面上。由於此種磨製得非常精細的刀口所施予軸承上的壓力非常強烈的緣故，故非應用瑪瑙、人造寶石或鋼料作為軸承材料不可。為了保養，凡是不用天平時，須使一項裝在秤架上可以向上移動的舉高設備將刀口舉離軸承。最後在秤桿中央上部，有一個小砝碼裝在一根細小的螺桿上面，若將此項小砝碼旋高或旋低，即能稍許變動秤桿重心和旋轉點之間的距離。

【精密自動秤】(Precise automatic balance)

以直讀方式，可將重100～200克的物體質量測定到數毫克精度的天平，因其測定法簡便和敏捷，有取代普通精密化學天平使用的趨勢。

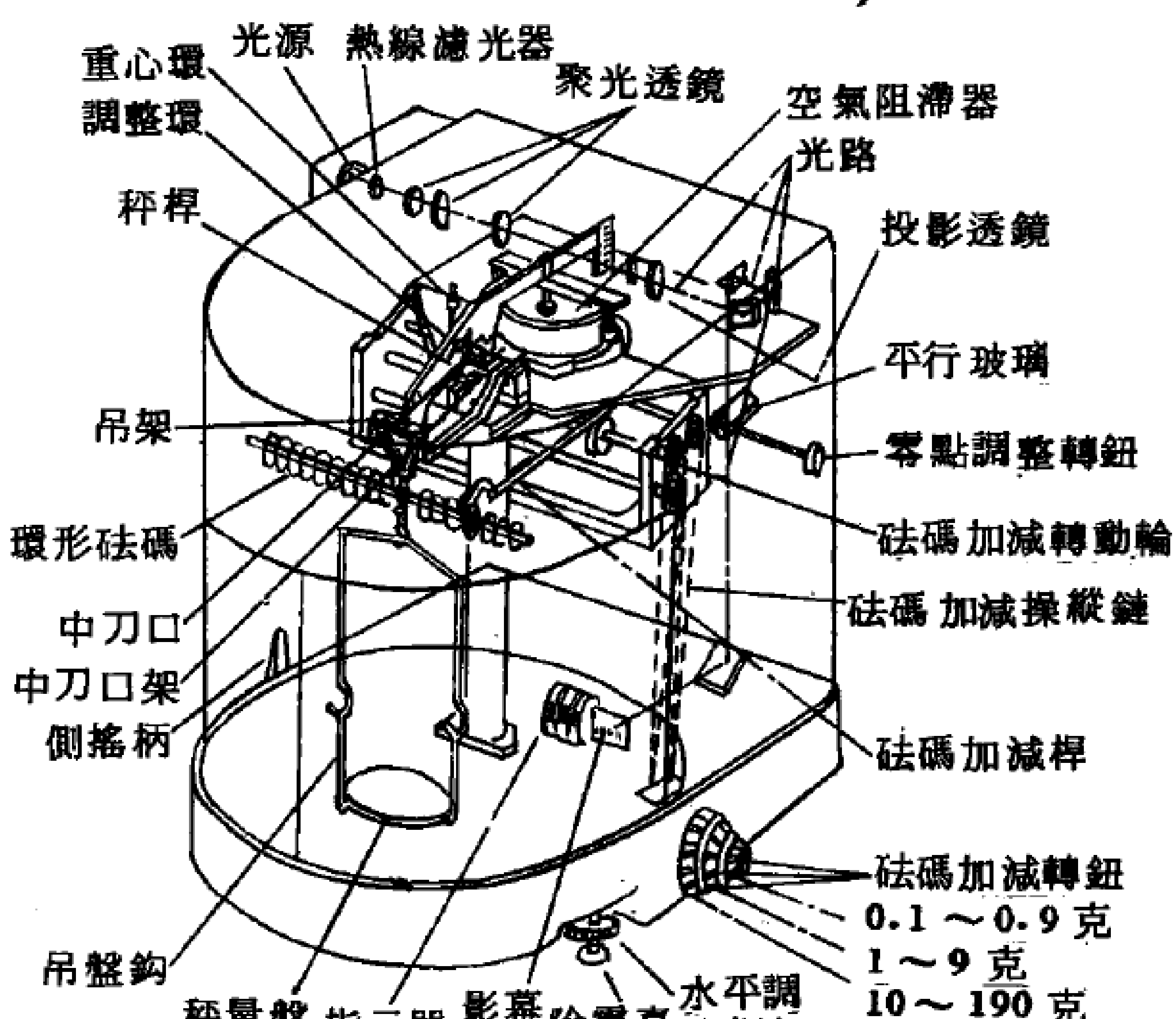


圖 14—31　精密自動秤構造

天平的缺點為使用小鉗子調節砝碼的煩雜，振動法需長時間

的測定，及測定物質量不同而引起的靈敏度、週期的變化等。這些缺點將由精密自動秤（如圖 14—31）解決之。

【精密度】（Precision）

用以表示一定義或敍述之正確或明晰的性質，物理量的精密度常以其數據的有效數字位數表示，位數多表示量度方法的精心細緻，故其精密度較大。反之，精密度較小。

【精細結構】（Fine structure）

電子處於不同能階之軌道上，受外界激發時，吸收能量產生電子躍遷。電子躍遷時可同時促進分子的振動及轉動能階變化，故電子光譜中含有大量之精細結構。在低鑑別率光譜中或分子在液態或固態時，精細結構相互重疊，故呈極寬之帶狀光譜。但若用高鑑別率的光譜儀研究氣態分子或低溫晶體的光譜時，精細結構得以分離而呈現。

精細結構主要爲一群間隙大致相等的帶譜群，乃因躍遷的初態或終態中的振動能階不同而產生。一定振動能階所致之帶譜則含有轉動能階不同而生之 P、Q 及 R 支的轉動結構。例如雙原子分子的吸收光譜中譜線之頻率可表示如下：

$$h\nu=(E_e-E_o)+n_e(h\nu_e)+[B_eJ_e(J_e+1)-B_oJ_o(J_o+1)]$$

式中下註 e 表示受激態，o 表示基態。右邊第一項爲電子狀態的能量差，第二項爲受激態的振動能，第三項爲受激態與基態中轉動能之差。

【精細結構常數】（Fine structure constant）

即 $$\alpha=\frac{2\pi e^2}{ch}$$

式中 e 是電子所帶電荷，c 是光速，h 是浦朗克常數。e^2 本身是有因次的，可是在量子化的過程中，會引入其他的自然常數，如浦朗克常數 h，光速 c 等。因此，很自然地出現一個無因次的常數

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = 7.297 \times 10^{-3} \approx \frac{1}{137} \qquad (\text{式中 } \hbar = \frac{h}{2\pi})$$

這個常數就是精細結構常數，表現出電磁交互作用的強弱。

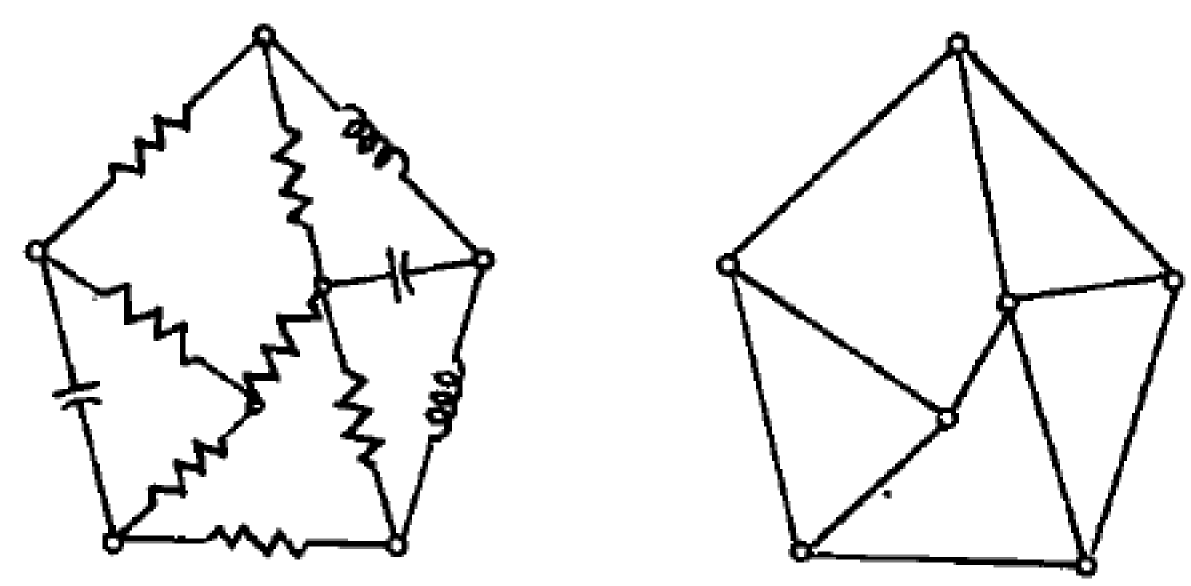
【網形電路】(Dividing network)

如擴音機的分音線路，通常以交叉週率爲界，劃分各個揚聲器通過的頻段範圍，其他則衰減。

【網絡】(Network)

在電的系統中，由若干元件組成，用來使電能傳輸合乎理想的電路，稱爲網絡。網絡中只有兩個頭的，稱二端網絡；四個頭的稱四端網絡。

簡單的電路，只需要一個相量方程式就可解決，網絡比較複雜，必須運用聯立方程式。如圖 14 — 32 (*a*) 的網絡，就不容易分析。如果把圖 14 — 32 (*a*) 投影到平面上，如圖 14 — 32 (*b*) 所示，則那些小圓圈稱爲節 (*node*)，而節與節間的連線稱爲支 (*branch*)，支可能只代表被動元件或主動元件，但也可能代表兩者的混合體。在構成圖 14 — 32 (*b*) 的網絡時，如果先利用支連接所有的節，但不造成任何封閉的環路，如圖 14 — 33 所示，則稱爲樹 (*tree*)，樹的作法並無單一性，在圖 14 — 33 (*a*) 的實線與圖 14 — 33 (*b*) 就是兩種不同的樹的作法，在這些樹裏所包含的支稱爲樹支 (*tree branches*)；而那些剩餘的支則稱爲連支 (*link branches*)，如圖 14 — 33 (*a*) 的虛線，因此當網絡具有 *n* 個節及 *b* 個支時，樹支的數目 b_t 及連支數目 b_l 的關係如下：



(a) (b)

圖 14 — 32　電的網絡及代表圖

$$b_t = n - 1, \qquad b = b_t + b_l$$

或

$$b_l = b - n + 1$$

如果連支的電流都等於零，則樹支的電流也都等於零；但是當任一連支的電流不等於零時，則其他的支就不會都等於零。換句話說，如果連支上的電流都已確定，則樹支上的電流也被確定。因此在解網絡問題時，我們必須找到 $b_l = b - n + 1$ 個方程式，以解 b_l 個獨立的連支電流。同理，如果跨過所有樹支的電位降都是零，則連支的電流根本就不能存在，故一個網絡具有 $b_t = n - 1$ 個獨立支電位降，因此這種網絡可以利用 $b - n + 1$ 個支電流或 $n - 1$ 節電壓決定。至於究竟選電流或電壓做獨立變數，當然要決定於那一個的變數數目較小。譬如圖 14 — 33 (a) 中，$n = 7$，$b = 11$，故 $b_t = 6$，$b_l = 5$，所以這種問題選電流做獨立變數比較簡單。

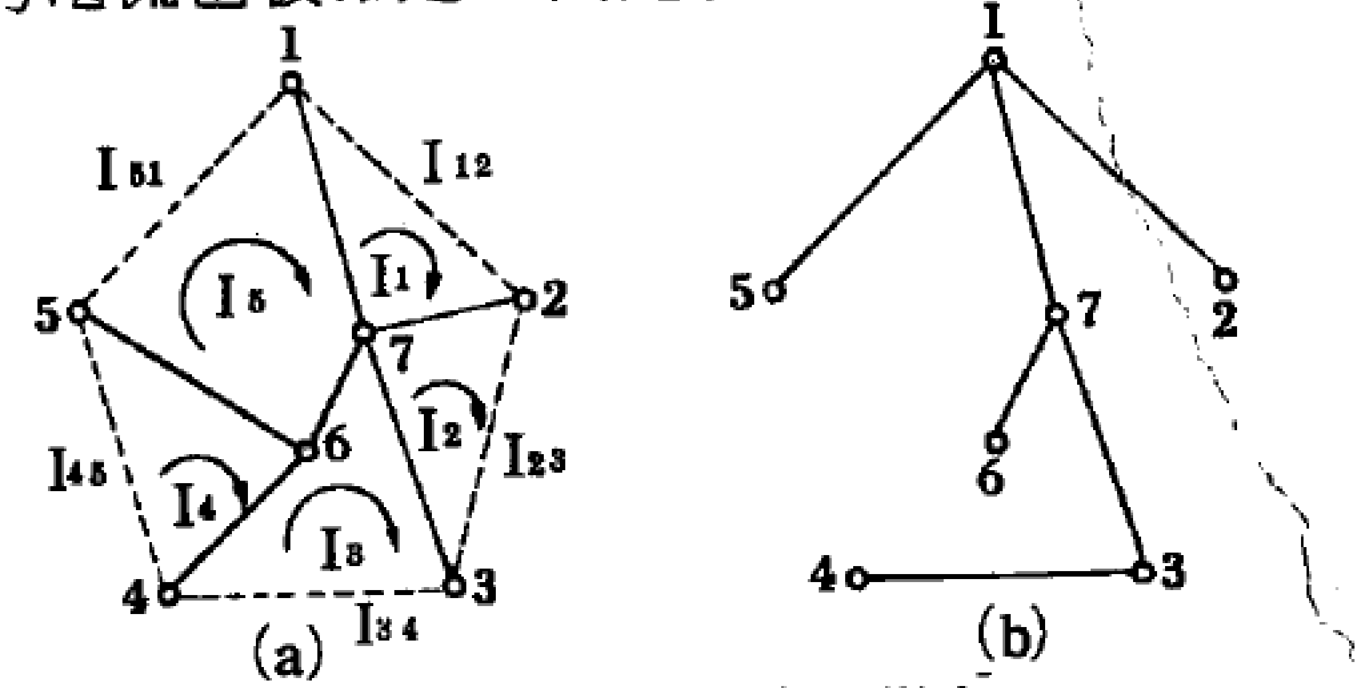


圖 14 — 33　連支及樹支

網絡的解法有網電流法 (*mesh current method*) 及節電位差法 (*node-voltage method*)，茲說明如下：

1. 網電流法——利用連支電流做變數，每一連支電流可以被看作通過那一個連支與相連樹支的網電流 (*mesh current*)，每個樹支內不只流過一個網電流，可是我們很容易把樹支電流寫成網電流的和，然後再利用克希何夫 (*Kirchhoff*) 第一定律。對每一個網來說

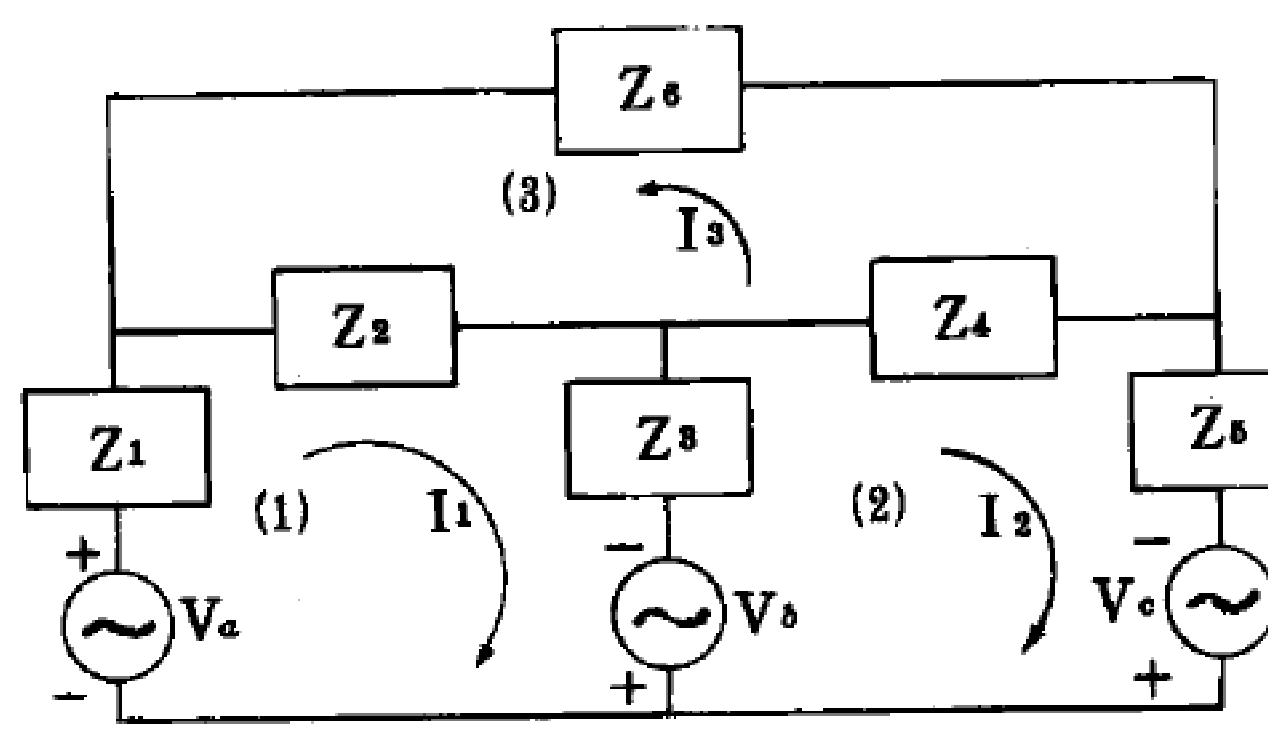


圖 14 — 34　網電流法

$$\sum_{\substack{\text{網內}\\\text{各支}}} Z_k I_k = 0$$

Z_k 是網上各支的阻抗，而 I_k 爲各支的電流，由於共有 b_l 個網，故共得 b_l 個方程式，正好解 b_l 個網電流。茲分析圖 14 — 34 的網絡：

設網絡電流方向如圖 14 — 34 所示，則共有三個網電流 I_1，I_2及I_3，利用這三個網電流，我們可以寫出各支電流，例如流經 Z_2 的電流就是 $I_1 + I_3$，餘者類推，因此

$$Z_1 I_1 + Z_2 (I_3 + I_1) + Z_3 (I_1 - I_2) - V_a - V_b = 0$$

$$Z_3 (I_2 - I_1) + Z_4 (I_2 + I_3) + Z_5 I_2 + V_b - V_c = 0$$

$$Z_2 (I_3 + I_1) + Z_4 (I_2 + I_3) + Z_6 I_3 = 0$$

經整理之後，可改寫爲

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3) I_1 - Z_3 I_2 + Z_2 I_3 = V_a + V_b = V_1$$

$$- Z_3 I_1 + (Z_3 + Z_4 + Z_5) I_2 - Z_4 I_3 = V_c - V_b = V_2$$

$$Z_2 I_1 + Z_4 I_2 + (Z_2 + Z_4 + Z_6) I_3 = 0$$

爲了表現這種行列式解法的整齊化，上式亦可改寫爲

$$Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 + Z_{13} I_3 = V_1$$

$$Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 + Z_{23} I_3 = V_2$$

$$Z_{31} I_1 + Z_{32} I_2 + Z_{33} I_3 = V_3$$

式中 Z_{mm} 代表第 m 環的自阻抗（*self-impedance*），而 $Z_{mn} = Z_{nm}$ 代表第 m 環及第 n 環接鄰的互阻抗（*mutual impedance*）。自阻抗前面的符號都是正的，而互阻抗的正負，則視電流方向而定。在平網路中（*flat network*），亦即在所有的支都可以被畫在平面上而不相交叉的情況，如圖 14 — 34 所示，可以取各網電流的方向都是順時針（或都是逆時針），因此，相鄰二網電流對其公共阻抗而言是方向相反的，故互阻抗全爲負號。

所以我們可以利用這種 Z_{mn} 的觀念，把網絡問題寫成整齊的一次聯立方程式，這種一次式可利用行列式的計算，求出各電流。如果以 Δ_z 代表阻抗的行列式，而 Δ_{ij} 代表此行列式第（ i j ）項的餘因式（*cofactor*）則各環路電流可被寫爲

$$I_k = \sum_{m=1}^{N} \frac{\Delta_{mk}}{\Delta_z} V_m$$

的形式，N 是行列式的階數。

I_1 的瞬時電流爲 $i_1(t) = \sqrt{2}\, I_1 \cos(\omega t + \theta)$，當瞬時電流爲正時，則此瞬時電流的方向就沿著圖示方向，I_2 及 I_3 亦然。至於電壓源的正負也不能墨守直流電的觀念，設瞬時電壓爲 $V(t) = \sqrt{2}\, V \cos(\omega t + \theta)$ 爲正值，則圖上所示“＋”端的電壓爲正。

2. 節電位差法（*node-voltage method*）——網電流法是利用電壓源計算各網電流的數值，而節電位差法，則利用電流源計算各節，對一個共同節之間的電位差數值，我們亦可看出電流及電壓的兩元性。

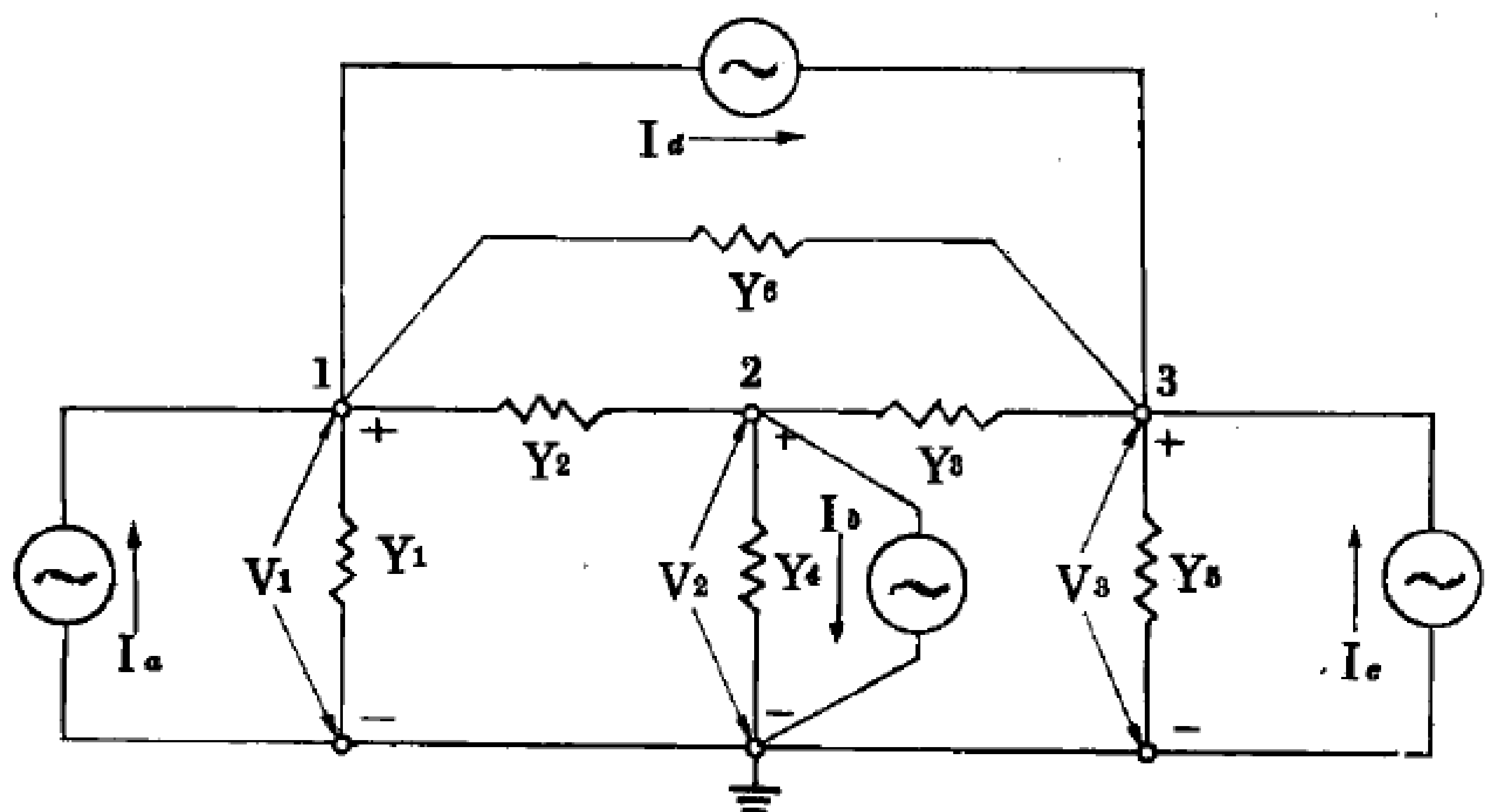


圖 14 — 35　電位差法

在 n 個節點內取一個爲共同節（通常將這點接地，不過這並不是必要的），然後以其他 $n-1$ 個節對這共同節間的電位差爲計算對象。一般的慣例都把共同節點一端的電位差視爲負，用這些節電壓，我們可以

表示所有的節間電位差，也因此，用每支的導納，我們可以得到每支的電流（使電流進入節點爲正），然後用克希何夫第二定律，對這些 $n-1$ 個節點而言

$$\sum_k Y_k V_k = 0$$

Y_k 爲連接節的支導納，V_k 爲支兩端的電位差。

圖 14—35 爲具有四個節的網絡，因此節電位差共有三個 V_1，V_2 及 V_3 都是相量，利用前述方法，我們可以寫出下列方程式

$$Y_1V_1 + Y_2(V_1 - V_2) + Y_6(V_1 - V_3) = I_a - I_d = I_1$$

$$Y_4V_2 + Y_2(V_2 - V_1) + Y_3(V_2 - V_3) = I_b = I_2$$

$$Y_5V_3 + Y_3(V_3 - V_2) + Y_6(V_3 - V_1) = I_c + I_d = I_3$$

整理之，改寫爲

$$(Y_1 + Y_2 + Y_6)V_1 - Y_2V_2 - Y_6V_3 = I_1$$

$$-Y_2I_1 + (Y_2 + Y_3 + Y_4)I_2 - Y_3V_3 = I_2$$

$$-Y_6I_1 - Y_3V_2 + (Y_3 + Y_5 + Y_6)V_3 = I_3$$

和前兩相似，我們也可以把上式整齊化，即

$$Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 = I_1$$

$$Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 = I_2$$

$$Y_{31}V_1 + Y_{32}V_3 + Y_{33}V_3 = I_3$$

式中 Y_{mm} 表示第 m 節所連繫各支的總導納，稱爲自導納（*self-admittance*）均爲正號，而 Y_{mn} 表示連繫第 m 節及第 n 節支的導納，稱爲互導納（*mutual admittance*），都是負號。

即使把上式變數的數目擴充到 N，我們亦可仿傚上法，利用行列式求出各節的電位爲

$$V_k = \sum_{m=1}^{N} \frac{\Delta_{mk}}{\Delta_Y} I_m$$

而且兩節間的支電流可利用電位差計算，亦即

$$I_{mn}=Y_{mn}(V_m-V_n)=-I_{nm}$$

【網電流法】(Mesh current method)

參閱“網絡(*Network*)”條。

【網膜】(Retina)

網膜是人眼構造上的一部分，和照像機的乾片相當。

【維里定理】(Virial theorem)

謂在一有限區域內包含 n 粒子的物系，其位置向量爲 $\vec{r}_i$，作用於第 i 個粒子的合力爲 $\vec{F}_i$，則此系的維里定義爲 $-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\vec{r}_i\cdot\vec{F}_i$。

【維度】(Dimension)

同自由度(*degree of freedom*)。例如在空間自由運動的質點需要三個獨立坐標予以描述，我們稱該質點位於三維空間內；在平面上運動的質點則稱爲位於二維空間內。

【維恩】(Wilhelm Wien 1864—1928)

1864年元月十二日生於德國，先後在哥丁根、海德堡及柏林等大學攻讀，1890年入理工學校任赫爾姆霍茲(*Helmoholtz*)的助手。1899年赴基森(*Giessen*)大學，1900年赴烏茲堡大學，1920年任教慕尼黑大學。維恩的研究遍及物理學的各部分，如輻射現象，就以對黑體輻射的研究而獲1911年諾貝爾物理學獎。其對黑體輻射最重要的貢獻是完成兩大定律；一是在一定溫度時，能量密度對輻射波長的關係式，維恩位移定律即謂在能量密度最大處之波長與絕對溫度的乘積爲定值。一是黑體輻射的能量分佈定律，爲浦朗克(*Planck*)發展輻射量子論奠定基礎。維恩又嘗從事對稀有氣體放電、陰極射線、X射線及正電粒子射線等之研究。1913年在紐約哥倫比亞大學講授近代理論物理，1928年八月三十日逝世。

【維恩定律】(Wien's law)

又稱維恩位移定律（*Wien's displacement law*）。1896 年德國物理學家維恩（*Wilhelm Wien*）研究熱輻射（*thermal radiation*）之光譜能量分佈（*spectral energy distribution*）時完成對黑體 *black body*)間之關係定律，維恩當時完成三定律，第一個定律即爲位移定律。其公式爲：

$$\lambda_m T = \sigma \text{（或 } c_1\text{）}$$

式中T爲黑體之絕對溫度，σ（或c_1）爲位移常數，其值約爲 0.2897 厘米度（*centimeter-degree*），故上式可以改爲：

$$\therefore \lambda_m T = 0.2897$$

$$\text{或} \quad \lambda_m = 0.2897/T$$

【維恩電橋振盪器】（Wien-bridge oscillator）

維恩電橋振盪器爲R-C振盪器的一種，適用低頻振盪，利用R-C電橋網路控制振盪頻率。

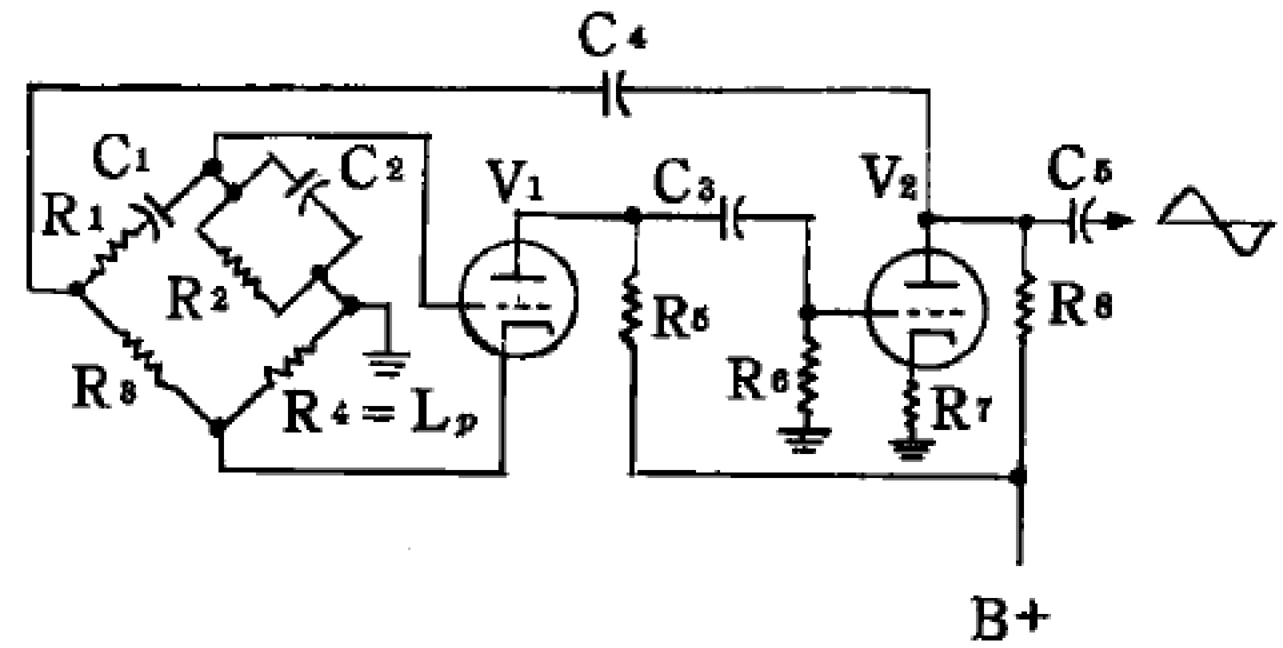


圖 14 — 36　眞空管維恩電橋振盪器

維恩電橋振盪器主要特點，在電路結構上分正反饋與負反饋兩支路，當正反饋大於負反饋時，開始發生振盪，正反饋小於負反饋時，振盪停止；負反饋網路主要作用係控制振盪幅度，因此維恩電橋振盪器其振盪頻率爲單一頻率，且爲等幅度振盪，其穩定性較移相振盪器爲優良。

圖 14 — 36 爲眞空管、圖 14 — 37 爲電晶體維恩電橋振盪器，玆分析圖 14 — 36 工作原理如下：

1. R_2 及 C_2 係並聯與C_1 及 R_1 相串聯，由於此一網路由V_2之屏極藉C_4跨接於V_1之柵極，其關係爲正反饋，即使該電路無橋式電路，振盪仍舊發生，也就是說要達到正反饋目的，即能發生振盪，但是眞空

管V_1及V_2內部電容量及耦合電路之移相，其所能振盪之頻率帶域很寬，不能適合某一單頻之振盪，因此必須抑制其他不必要之頻率，$R-C$網路即爲維恩電橋控制頻率主要部分。

2. 維恩電橋振盪器必須符合正反饋之條件，即V_2之輸出跨於R_2C_2之反饋電壓，必須大於由V_2之輸出跨於R_3及R_4所組成之分壓器供給V_1陰極之電壓。

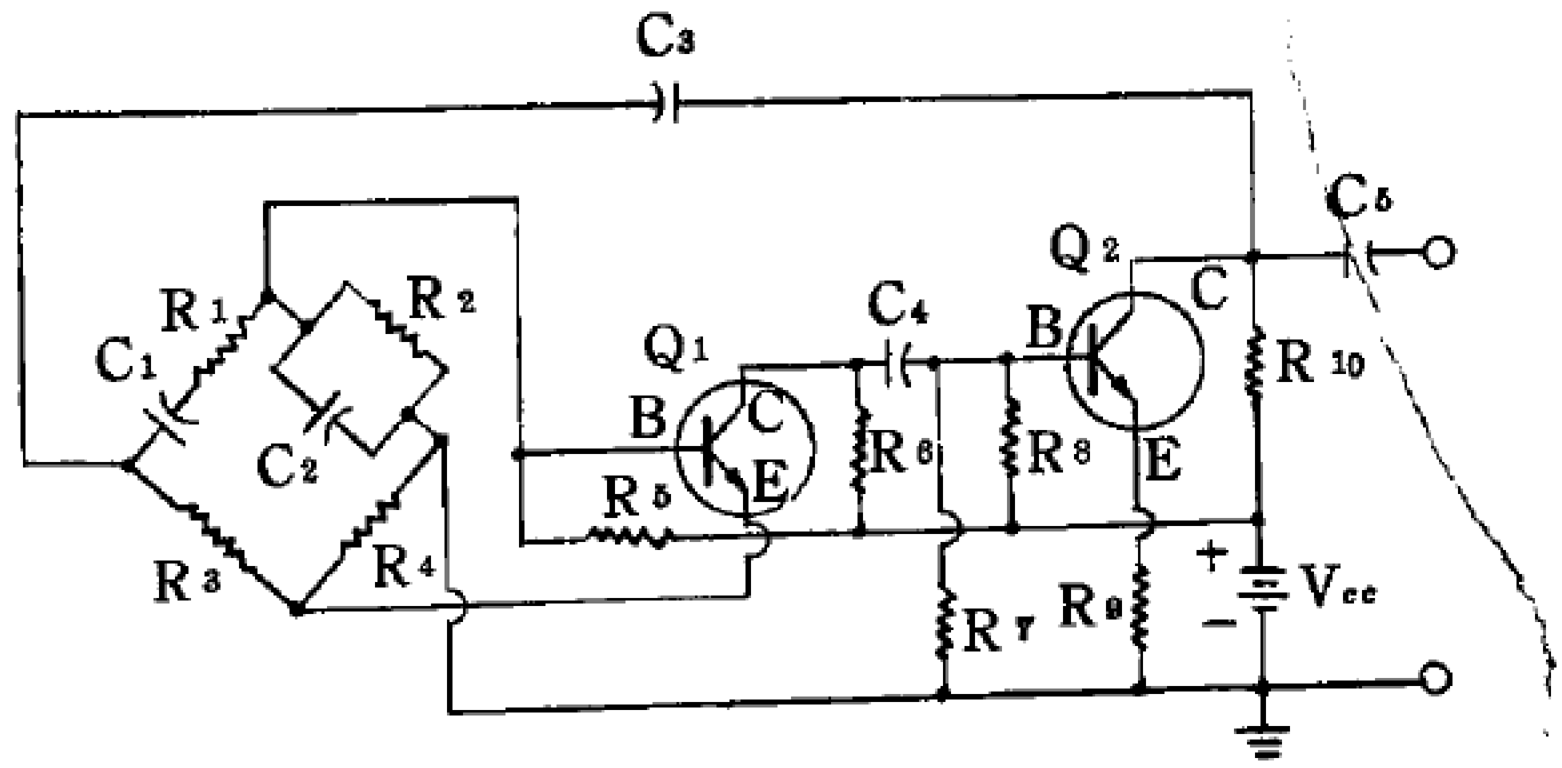


圖 14 — 37
電晶體維恩電橋振盪器

當正反饋電壓大於負反饋電壓時，振盪建立。R_4通常爲一正溫度係數之燈泡，亦可由電阻代替之。

設f_0爲某一所希望振盪之頻率，如此時f_0對於R_1C_1及R_2C_2所呈現之阻抗，其正反饋適大於負反饋，即大於R_4上之負反饋電壓時，其發生振盪頻率爲f_0。

假設頻率超過f_0時，C_1及C_2之電容抗接近至零值，R_2必被一非常低電容抗所旁路，結果V_1之輸入阻抗減低，此時負反饋電壓大於正反饋電壓，振盪即形衰落。

又假設頻率低於f_0，則C_1有甚高之電容抗，而C_2對於R_2相當於高電阻並聯，其阻抗乃爲R_2，於是R_2之電壓必驟然降低，V_1柵極與接地間之正反饋電壓，趨向於零，是故振盪亦將衰減，唯有f_0頻率時，正反饋大於負反饋電壓，因此其振盪頻率爲單一頻率。

維恩電橋振盪器之振盪頻率，由R_1-C_1串聯及C_2-R_2並聯之網路的阻抗所決定，其正反饋量大於負反饋量時，其振盪頻率可由下列公式表示之：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2}}$$

當 $C_1 = C_2$ 及 $R_1 = R_2$ 時，其振盪頻率爲：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_1C_1}$$

【緲子】（Muon）

即 μ 介子，屬於基本粒子，爲微子的一種（不爲介子），質量爲電子的 207 倍，帶一單位正電或負電。

【緊束分數】（Packing fraction）

眞正的原子核重量與質量數之差，被除以質量數之商稱爲緊束分數；即（$M - A$）/ A。另外一種表示法爲：質量欠缺與質量數之比。對於質量數小於 12 或大於 180 的核種，此值大都爲正，故其呈不穩定狀態，而對大部分其他之核種，此值爲負，故這些元素呈穩定狀態。

參閱“結合能（*Binding energy*）”條。

【緊張絃】（Stretched string）

假設絃爲均勻，完全柔順，且振動時長度大致不變，將細長之絃兩端牢固近乎達到此情況。絃上產生駐波（*standing wave*），可視爲反方向行進的兩橫波重疊所致，波速同爲

$$v = \sqrt{\frac{T}{m}}$$

式中 T 是張力，m 是線密度。其基本模式是絃上只有一波腹，波節在兩端，此時波長是絃長 l 的兩倍，基本頻率 ν_1 爲

$$\nu_1 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{v}{2l}$$

當絃有數個波腹振動時，則生各種泛音（*overtone*），所有泛音均爲諧音，其頻率爲基音頻率 ν_1 的整倍數，即

$$\nu_n = \frac{n}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{n}{2l}v = n\nu_1 \quad (n = 1, 2, 3\cdots)$$

圖 14 — 38 表示緊張之絃振動時的前四種模式。

絃振動時也會同時出現幾個泛音，泛音數目及其大小與激發振動的方法有關。許多樂器用橫向振動絃作爲聲源，當絃與共鳴板相連時，能增加發射的聲能。豎琴發音的方法是用手指撥絃，鋼琴用槌敲絃，提琴則用弓拉絃。由這些樂器發出音符相同但音色不同的聲音，由於各種激發方法而生不同泛音所致。若將電磁鐵置於絃線附近，通以適當頻率的交流電，可使絃保持振動不輟。在實驗室中，用絃作成絃音計（*sonometer*），以量度聲源的頻率。

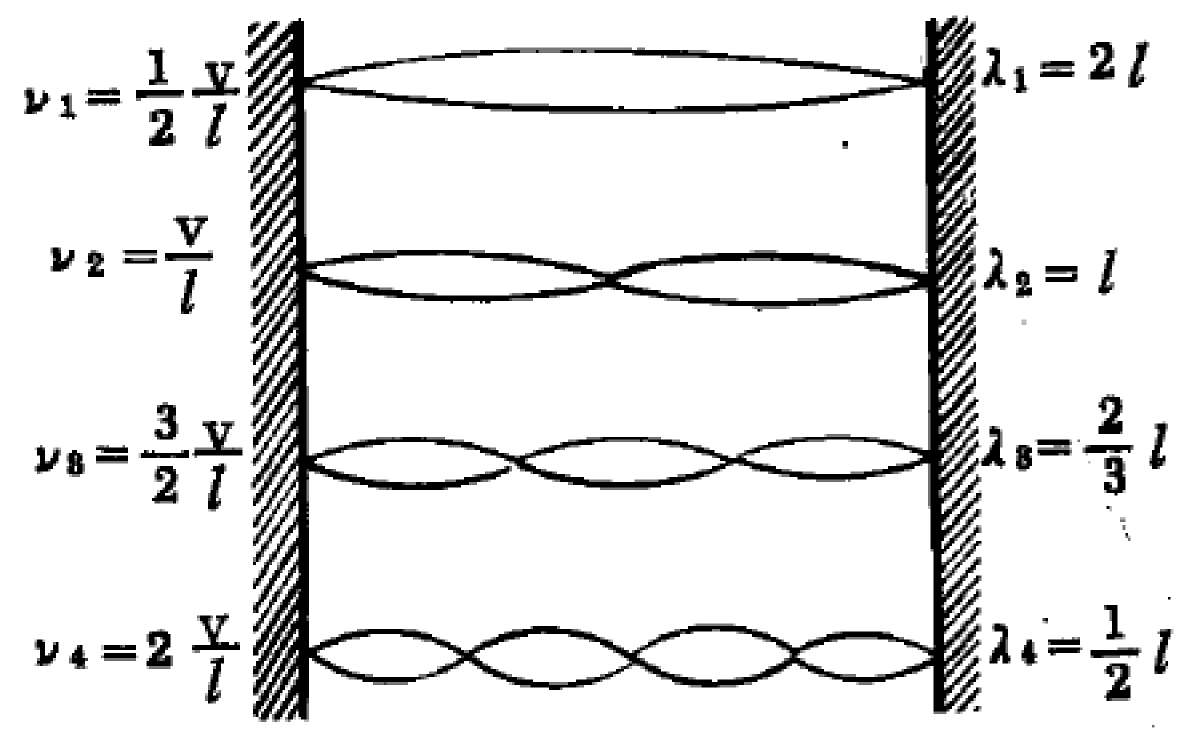


圖 14 — 38

【緊急信號】（Urgency signal）

指有關移動電臺或飛機、船隻、人員安全的通信呼號。無線電報緊急信號係以數組之*XXX*符號，相續連發，以表示此電臺須發緊急電文。如關於所見或所在船舶、飛機等之安全，或關於所見或本船所載人員之安全等事。

【緊密鍵聯近似法】（Tight binding approximation）

一種計算在固態中電子能量的方法。

【緊耦合】（Tight coupling；Close coupling）

高度耦合程度。兩電路耦合程度盡量緊密，表示交移電力最大的情況。

【聚合水】（Associated water）

水構成分子排列的形式。三顆原子差不多成直角排列，頂端是氧原子，氫原子分別與兩顆氫原子共帶兩粒電子；但兩粒電子，不是平均分配，氧原子對電子的吸引較大，因此在水的分子中，氧原子所帶的負電

最多。這就是說，雖然水的分子整個來說是不帶電的，但氫原子方面實際上帶有少許負電子，而兩顆氫原子則帶小量的平衡正電。

性質相反的電子，互相吸引。因此，有一種傾向，相鄰的水分子排列成行，甲分子帶負電的氧原子，與鄰近帶正電之氧原子接近，形成氫引力，其強度不過是分子內把氫和氧繫在一起的普通引力之二十分之一。但仍足以使水分子產生黏性。

進言之，假使水的分子集中在一個極小的範圍中，譬如在一條極細的管子內，一分子中之氧原子可能受壓迫與鄰分子之氫原子異常接近，因此，氫引力與分子內之普通引力強度一致，兩分子合而爲一，另一分子可能又與上述的雙分子聯合，於是分子一個一個的聯成群體。

結果，可能許多分子緊緊合在一起，所有之氫原子與氧原子形成正六角形，稱之爲聚合水。聚合水必須加熱至攝氏五百度，才可以解散爲許多單獨的水分子。又由於聚合水的分子緊緊擠在一起，其密度是普通水的一點五倍。

聚合水可能與生物生存，息息相關，有些科學家懷疑微生物生活的空間有限，那兒的水分子是否呈聚合狀態而非普通的狀態，現仍在研究中。

【聚星】(**Multiple star**)

天空之中，有恆星數顆互相聯絡，成一系統，如雙星然者，概稱爲聚星；其爲三星環繞一公共重心者，稱爲四合星，六星環繞一公共重心者稱爲六合星。

參閱“雙星 (*Double star* ; *Binaries*) ”條。

【聚光透鏡】(**Aggregating light lens**)

詳閱“凸透鏡 (*Convex lens*) ”條。

【聚光鏡】(**Aggregating light mirror**)

從太陽射來的熱能爲數實在大得驚人，經由大氣的輻射，向四周散

射而不能集中。因而，必須利用鏡子來聚集太陽射線到一個較小的範圍內，在這範圍內的溫度便會極度增高，適宜於用來燒水並產生蒸汽。這樣獲得的蒸汽與燃燒煤炭或石油所獲得的蒸汽完全一樣，可以推動引擎。

這個方法，曾在小規模的燒水過程裏使用過。當時，爲了使太陽通過高空時，鏡面始終跟著轉動，與太陽間維持著一個適當的角度，科學家們也曾使用過一種計時裝置來帶動鏡子。

蘇俄一位科學家曾發明了一太陽鍋爐，周圍環繞著二十三圈的鐵軌，用來幫助支持巨大反射鏡的架子，使之靈活運轉。每一組反射鏡，大約有10呎寬，16呎半高。各組巨大的反射鏡，將由二十八片平面鏡組成，並將隨太陽而運轉，俾隨時將陽光聚集在巨大的鍋爐上。所有這些鏡片的總面積約爲24,000平方碼。這樣聚積的熱量，每小時將可產生13噸的蒸汽推動機器。它們可以用來爲沙漠中的國家抽取用水，進而爲沙漠地區帶來生機。

由於鏡片造價昂貴，用平面鏡來擷取太陽能以產生蒸汽動力效果不佳。因爲，這樣的鍋爐所需要的鏡片過多，幾乎要用一個廣場那麼大的鏡子，才能產生足夠的蒸汽，來開動一個小規模發電廠的小型機器。

太陽爐成功地產生極高的溫度。目前，在美國等很多國家，太陽爐正在廣泛地使用著。這種爐子的主要目的是在產生供研究用的高溫。通常使用鏡片或透鏡，將太陽能聚集起來，以便獲得高達華氏 6,300 度的溫度。

最壯觀的太陽爐之一，座落在西班牙邊界附近，比勒尼（*Pyrenees*）東方5,250呎高的羅薏絲山峯（*Mont-Louis*）。它包括兩組巨大的鏡子，聚集約二萬倍的太陽光。每一組鏡子寬40呎，由520個獨立的小鏡片組成，並固定在轉軸上，以便在任何角度擷取陽光。轉軸是用光電池來控制的，因而，在轉動中，任一時刻的鏡面都與太陽光保持著最佳的角度。

這兩組巨大的鏡子，把光線送到80呎外，一個形狀與車頭燈的反射鏡相似的固定拋物鏡上。光線經拋物鏡面反射，就能集中到置於兩巨鏡間的太陽爐入口。爐孔的大小與小艇的艙門差不多，但可以獲得高達華氏5,400度的溫度。已知鐵的熔點只有華氏2,800度，因此，這樣一個爐子的加熱能力，實在值得重視。

【聚苯乙烯】(Polystyrene)

絕緣性能很高，即使在最高頻率時介質損失也很小的塑料。廣泛地用來作爲製造高頻線圈架的材料以及同軸電纜中的絕緣材料等。

【聚焦】(Focusing)

光線通過凸透鏡時聚集於一點，這一點叫做焦點。聚焦就是使光線聚集於一點。

電視機中電子束管內的聚焦就是在盡可能地減小亮點的直徑，也就是使整個電子射線聚焦於屏上的一點，以得到最清晰的影像。

因爲電子是最微小的電荷，所以它和任何電荷一樣，要受到靜電場的作用，而運動著的電子則還受到磁場的作用。這兩種現象（電場和磁場對電子的影響）在接收管與發射管內用來使電子射線聚焦和偏轉。

【聚焦透鏡孔角方程式】(Focusing lens equation)

圖 14 — 39 爲一電子錐經聚焦磁透鏡投射於聚焦處的示意圖。當聚焦的時候，即可藉數學計算其孔角。此時：

$$\tan \alpha_c = \frac{r}{s'},$$

由於小角 $\tan\ \alpha = \alpha$，上式可寫作

$$\alpha_c = \frac{r}{s'} \qquad (1)$$

此處 α_c 爲聚焦磁透鏡的孔角，r 爲透鏡孔口的半徑，s' 爲透鏡至聚焦處的距離（即焦距）。焦距 s' 可藉牛頓方程式（*Newton equation*）求出：

$$xx' = ff' \qquad (2)$$

牛頓方程式係藉數學以說明一薄透鏡的情況，如圖 14—40 式中 f 爲對物透鏡一邊的焦距，f' 爲顯影幕一邊的焦距。

（1）式中

$$x = s - f \quad（因爲\ s = x + f） \qquad (3)$$

$$x' = s' - f' \quad（因爲\ s' = x' + f'） \qquad (4)$$

s 爲光源至聚焦透鏡間之距離。就薄透鏡而言，f' 和 f 兩焦距大致相等，即

$$f' = f \qquad (5)$$

所以（1）式可寫成

$$xx' = f^2 \quad 或 \quad x' = \frac{f^2}{x} \qquad (6)$$

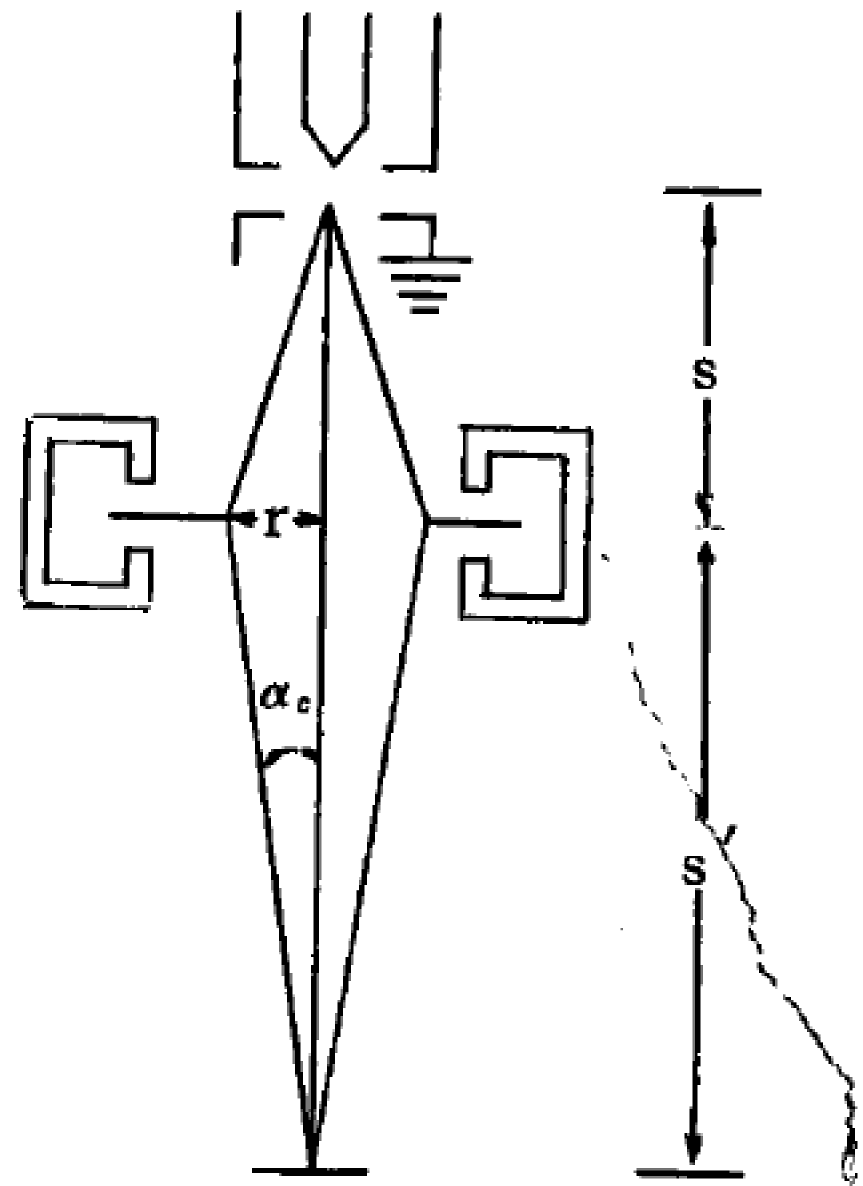


圖 14— 39
電子錐投射聚焦點示意圖

把（5）式代入（4）式，則（4）式並可寫成爲

$$x' = s' - f$$

再把上式及（3）式代入（6）式，得

$$s' - f = \frac{f^2}{s-f} \quad 或\ s' = f + \frac{f^2}{s-f}$$

把上列各式照如下步驟簡化

$$s' = f\left(1 + \frac{f}{s-f}\right) = f\left(\frac{s-f}{s-f} + \frac{f}{s-f}\right) = f\left(\frac{s-f+f}{s-f}\right)$$

即

$$s' = f\left(\frac{s}{s-f}\right)$$

將上式代入（1）式，得：

$$\alpha_c = \frac{r}{f\left(\frac{s}{s-f}\right)}$$

此方程式，表示電子顯微鏡的聚焦磁透鏡，其計算孔角的方程式與

與光線在光學顯微鏡中通過薄透鏡的方程式相同，後者即：

$$\alpha_c = \frac{r}{f_c\left(\frac{s}{s-f_c}\right)}$$

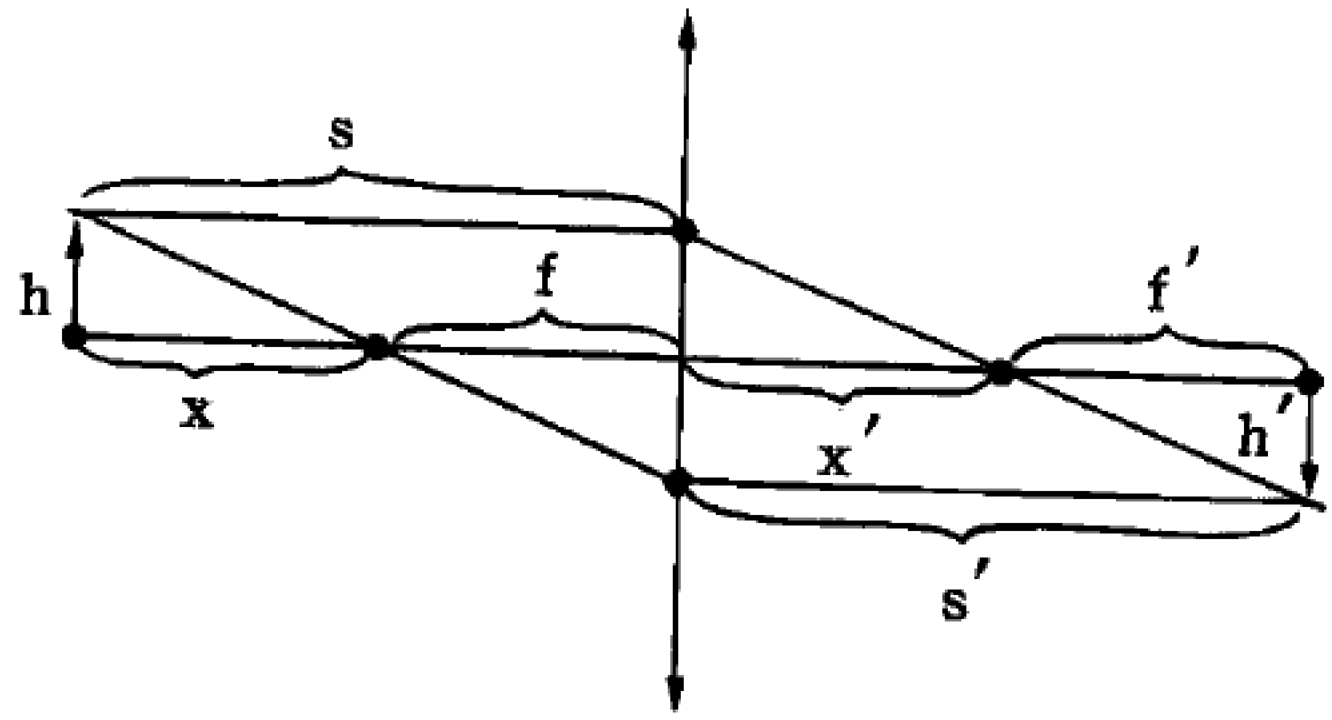


圖 14 — 40 薄玻璃透鏡之顯影

【聚焦線圈】（Focus coil）

環繞射線管頸部控制電子射線，直注銀幕中一點，聚焦任務是靠變更通過此線圈之直流而完成。

【聚集透鏡】（Convergent lens）

陰極射線管之電子射線離開前置加速電極後，即進入電子透鏡區域，該透鏡是兩靜電場組成，一為聚焦極與前置加速極電場；一為聚焦極與加速極的電場，電子射線通過透鏡時本來是分散的，但過透鏡時又趨集一點，最後集中向銀幕轟擊。

【聚變】（Fusion）

利用高溫及高壓將兩個或多個輕原子核熔合一起，成為一個重原子核的現象稱為聚變或核聚變（*nuclear fusion*）。聚變是一種特殊的核反應，稱之為聚變反應（*fusion reaction*），在此反應中有大量的能量釋放出來。可聚變的元素有氫、重氫及鋰等輕原子核。聚變反應因為需要在高達百萬度或千萬度以上的溫度才能進行，故又稱為熱核反應（*thermonuclear reaction*）。

在攝氏百萬度以上的高溫，所有原子均完全游離，原子中所有電子全部逸去，僅餘下原子核。在高溫下這些原子核因熱運動而獲得高速，並當互相碰撞時因直接接觸而能產生聚變反應，同時放出很大能量。太陽及許多星球上所產生的能量均來自這種熱核反應。其熱核反應是將四

個氫原子核熔合成一個氦原子核，其反應式為：

$$4\,{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 25.7MeV$$

上式的熱核反應需要在極高的溫度下才可進行。

在熱核反應中，如促使所有可聚變原料在極短時間內（例如百萬分之一秒）用盡，這瞬時間的巨大能量產生，將引起極猛烈的爆炸。氫彈（*hydrogen bomb*）就是利用此種原理製成。

【聚變反應器】（Fusion reactor）

此種反應器是能使聚變反應不斷發生，且同時放出可用能量的裝置。

因原子核間的庫倫力（*Coulomb force*）排斥作用，使所考慮應用的聚變反應僅限於氫的同位素中，而且需在極高溫（350,000,000 $^{\circ}K$）時聚變反應方可發生，由於如此高溫的要求，僅可藉電離化的氣體作媒介，再加以適當的電場或磁場使之與外界隔絕。

可用作聚變反應器內的核反應有以下幾種：

$$^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}He + n \quad (+3.25MeV)$$

$$^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}H + p \quad (+4\ 0MeV)$$

$$^{3}He + {}^{2}H \rightarrow {}^{4}He + p \quad (+18.3MeV)$$

$$^{3}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{4}He + n \quad (+17.6MeV)$$

若聚變反應器能發展成功，可解決人類長時期的能源問題。目前對聚變反應之研究正方興未艾，其目的乃在造成一物理狀態及環境，在其中輕元素能在可控制的狀況下進行聚變反應，而由此反應所獲得的可用能量，恆需大於維持此物理狀態所消耗的能量。

【聚變功率密度】（Fusion power density）

在熱核控制聚變的離子體中單位體積產生的能量，如用氘反應，密度每立方厘米有10^{16}粒子，溫度在60,000伏特時，則功率密度約為每立方厘米一仟瓦特，此能量是反應生成物放出的動能。

【臺秤】（Platform balance）

臺秤叫十進秤，是一種槓桿的組合。如圖 14 — 41 秤衡時可將負荷放置在秤臺DE上面；DE係以其左端D掛在一根直立的DB桿上，右端 E 則以刀口壓在一個以G 作爲旋轉點的單臂槓桿上面，槓桿不受拘束的一端F則另掛在一根直立桿FC 上。這兩根垂直拉桿FC和DB各以其頂端C和B固定在一根雙臂槓桿之右臂上面。此一槓桿以O 作爲旋轉點，其另一較長之桿臂上，則有秤盤（連同砝碼P在內）掛於A處。各槓桿臂之長度須保持$AO:OB:OC=10:1:5$和$GE:GF=1:5$的關係。我們可在想像之中，將負荷Q分成Q_1+Q_2：Q_2 壓在刀口E 上，此一壓力乃與FC 桿上所產生的拉力 $Q_2/5$ 相應；Q_1 則以DB拉著槓桿$AOBC$ 。在槓桿$AOBC$取得平衡時，必定是$P\times10=Q_1\times1+Q_2/5\times5=Q_1+Q_2=Q$，亦即$P=Q/10$ 。因此，只需要負荷Q十分之一的重量即能取得平衡，此即所以稱爲十進秤之原因。至於將負荷放置在秤臺上的任何位置，這也就是說不論分力Q_1 和Q_2 之大小如何，其和完全不受影響而與Q 恆屬相等。

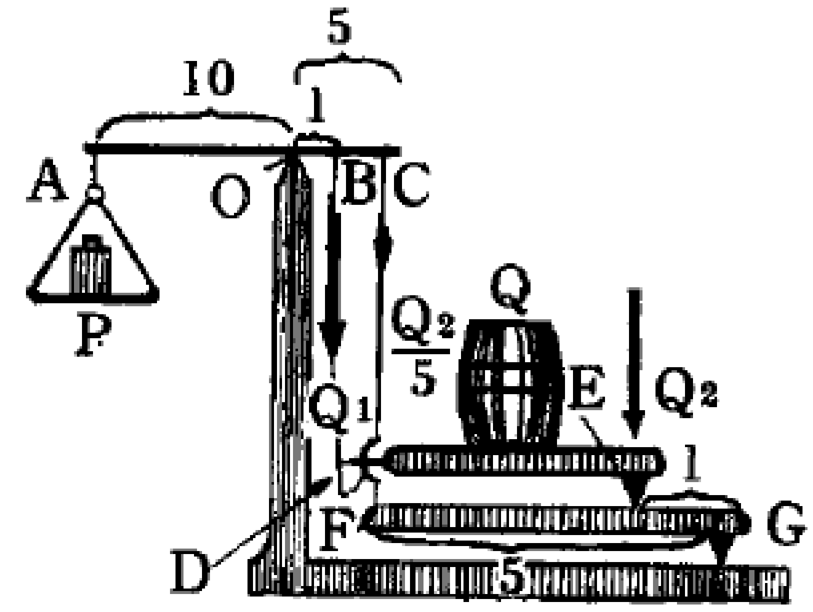


圖 14 — 41　十進秤或臺秤

若取用$AO:OB:OC=100:1:10$，和$GE:GF=1:10$時，則負荷Q只需要$Q/100$之砝碼即能取得平衡。此種形式之秤稱爲百進秤，可用以秤衡較重之負荷如滿載的車輛等。

【蒲賽爾、史密斯起波器】（ Purcell-Smith undulator ）

在1953年，蒲賽爾（ *E·M· Purcell* ）和史密斯（ *S·J· Smith* ）利用一個至今仍未命名，或可稱爲微觀靜電起波器（ *microscopic electrostatic undulator* ）的儀器產生了偏振光，在這個裝置中，最重要的部分是一個每吋含有 1,500 個凹槽的鋁製繞射光柵（ *diffraction grating* ）。他們利用一個細長的三十萬電子伏特電子束以平行於光柵平面但垂直於溝槽的方向通過光柵，當電子束調整到通過

這被切割之表面的寬度小於0.1毫米時，就產生了輻射線。這是因爲當每一個電子運行到光栅前時，就在最近的光栅部分產生一個感應鏡像電荷（*mirror-image charge*），這電荷隨著電子的運動，被吸引著向電子移動，經過溝槽而產生上上下下的運動；每一個電子和它的鏡像電荷構成了一個電偶極（*electric dipole*），一個變化的電偶極由於上下的運動，就必然發生輻射現象，這是浦賽爾和史密斯所發現的現象。由於這些電子的速度非常地高，而且都卜勒效應（*Doppler effect*）是這麼地大，在一個很偶然地機會裏，他們發現有某一頻率的藍光出現；但是除此之外；當他們離開遠一點時，他們又發現僅有前述光頻率三分之二的紅光出現，這現象顯示：這一種光源，其顏色可以隨著觀察者所在的位置而變化，而且，這些觀察者又都是在同一個坐標系統中。

【蒙氣差】（Atmospheric refraction）

星光經過大氣中，發生的屈折作用，叫做蒙氣差又叫大氣折射。蒙氣差隨高度而不同；地平附近達 35′，高度10°爲 5′，45°爲 1′，天頂則爲零。日月的視直徑約爲 32′，所以我們看見它在地平上，實際它在地平之下。

由於大氣的動盪使屈折發生變化，結果發生所謂星的閃爍（*twinkling；scintillation*）現象；所以望遠鏡中的星像呈現不安定的景象。

【蓄電池】（Accumulator；Secondary cell；Storage battery）

這是一種能量儲蓄器。它可以將化學能與電能互相轉變，向它通以電流，便可充電。充電後又能向別的電路進行放電。放電以後的蓄電池，又可重新充電。和原電池一樣，蓄電池也是一個容器，其中裝置兩塊薄板或薄板組（電極組），作爲蓄電池的正電極和負電極。蓄電池中灌以電解液，電極板便浸入其中。在充電時，蓄電池內有電流從正極板經

過電解液流向負極，同時有化學作用發生，使電極板與電解液的成分發生變化。在放電時，蓄電池內的電流向反方向流動，即從負極板經過電解液流向正極板。各種蓄電池有著不同類型的極板和電解液的成分。在鉛蓄電池或酸性蓄電池內，電極由鉛篩網板作成，其小孔填以海綿狀鉛（負極板）及硫酸鉛（正極板），電解液則爲比重 1.21 的稀硫酸溶液（在放電時，上述孔內物質的化學成分發生變化）。在鹼性蓄電池內，用作電極的薄板上塗敷一層氧化鎳（正極）和鐵粉（負極），電解液則爲苛性鉀或苛性鈉的溶液（在放電時，極板的化學成分發生變化）。

蓄電池自充電完成至放電完畢所輸出之安培小時數稱蓄電池之容量，如 20 安培小時之容量即可在電流 4 安培下使用 5 小時。

【蓋金法】（**Metalliding**）

在金屬外表加一層較硬的表面，使該金屬增強力量，是一種新的金屬加工方法，在航空及其它工業部門中有不少用途。冶金學家們一直在研究這種方法如何應用，認爲它前途發展未可限量。

飛機、火箭、太空船、潛水艇、反應爐、汽車、大廈建築和電氣用品的製造，將因此得到改良的新原料。

這種方法叫作蓋金法，能使 92 種天然元素中的 50 種元素，相互配合成爲合金式的外表層。這類外層中，有許多是任何其它方法所難以製成的東西。

結構材料中如鐵（*Fe*）、鎳（*Ni*）、鉛（*Pb*）、鈦（*Ti*），較軟的金屬如銅（*Cu*）和鉬（*Mo*），稀土金屬如鈽（*Pu*）和鈧（*Sc*），都可以採用蓋金法加工處理。

這方法是美國通用電氣公司研究發展中心的柯克博士設計的。這技術的主要部分是溶解的氟化鹽液。在應用高溫電解法時，這種鹽類被用作溶劑，把金屬和非金屬（如硼（*B*）和矽（*Si*））擴散到其它金屬及合金的表面上去。

像這樣用作合成料的原料實際上是滲透到加工處理的金屬內部，並不是簡單地鍍上去的。因此合成後的金屬表面和原來的金屬性質大不相同。

在蓋金法中，受鍍的金屬放在電解電池的陰極處，陽極處放的是要鍍上去的金屬或非金屬。

通上直流電後，電流從陽極流向陰極，原料從陽極通往陰極，發生反應，擴散進入陰極的表層中去。

【蓋革】（**Hans Geiger** 1882—1947）

德國原子核物理學家，生於1882年。他曾在1906至1912年充任拉塞福（*E·Rutherford*）的助手，1908年發展輻射計數器，用以探測放射性。蓋革研究α粒子被金屬薄膜散射而偏向，導致1911年拉塞福發現他的原子構造的模型。現在應用極廣的蓋革、牟勒計數器則是蓋革與牟勒（*W. Müller*）在1920年代所設計而來的。對於原子核物理學的發展有其卓越的貢獻。

【蓋革、牟勒計數器】（**Geiger-Muller counter**）

簡稱*GM*計數器，有時稱蓋氏計數器，如圖14—42所示。此爲1928年由德國人蓋革與牟勒（*Geiger and Müller*）所發明的一種測定γ射線與β射線的充氣計數器。其基本構造是以一金屬圓筒爲陰極，筒的內直徑約1至5厘米，長度約5至30厘米，沿筒軸中心裝有金屬細線，充爲陽極（如圖14—43）。筒內裝入適當的混合氣體，兩極間所加電壓因筒之大小及氣壓高低而不同，通常在1,000伏特以上，內部電路

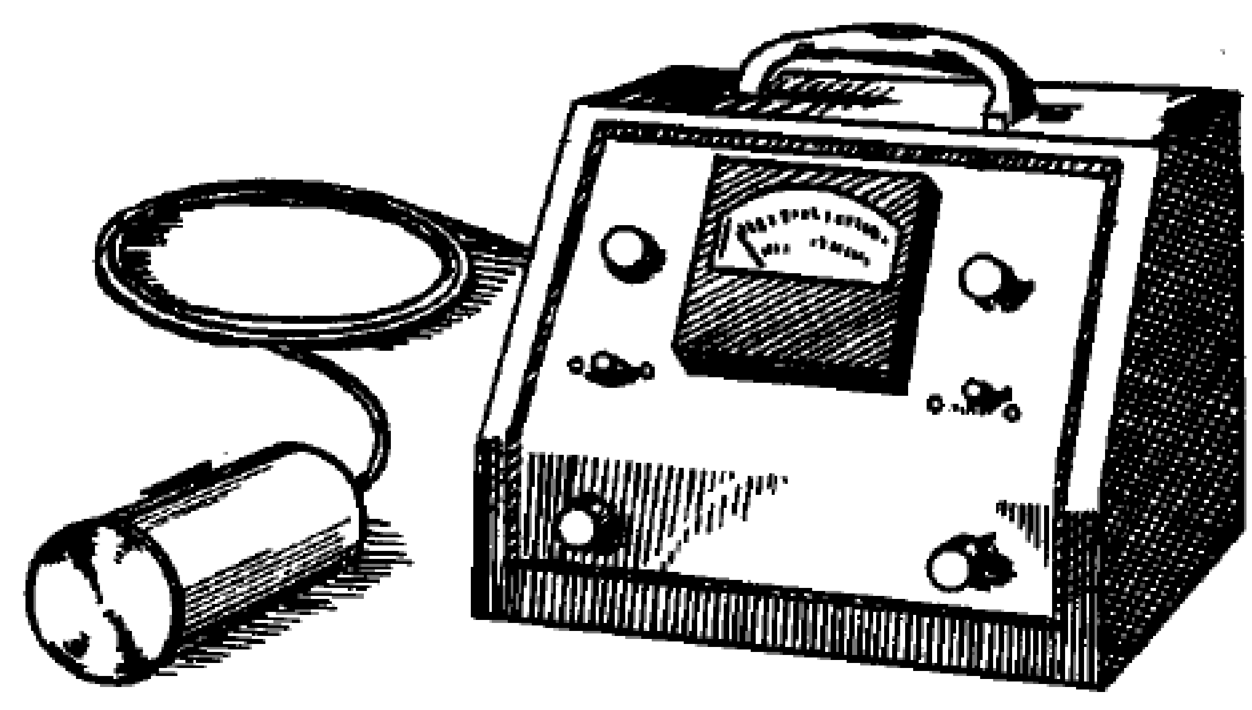


圖 14 — 42

蓋革、牟勒計數器全貌

構造如圖14—44。其作用原理爲當入射輻射線使器內氣體游離，所產生的電子被兩極間電壓加速後，連續碰撞氣體分子，使其不斷再次游離，最後產生崩潰（*avalanche*）而放電，故不論輻射線能量的大小，一旦有離子對產生就可計數。外加電壓較正比計數器爲高，在此電壓附近數百伏特範圍內放電量爲一定，計數不因電壓變化而改變，這一區域（計數率與電壓無關）稱之爲平段（*plateau*）。每次放電後，漂移速度較小的正離子圍繞中心金屬線，構成短暫時間內之護套（*sheath*），而器內中心附近電場降低，使在此短暫時間（約爲數百毫秒）內所射入輻射線不能引起放電，即計數器不能計數之狀態，這段時間稱之爲失效時間（*dead time*）。

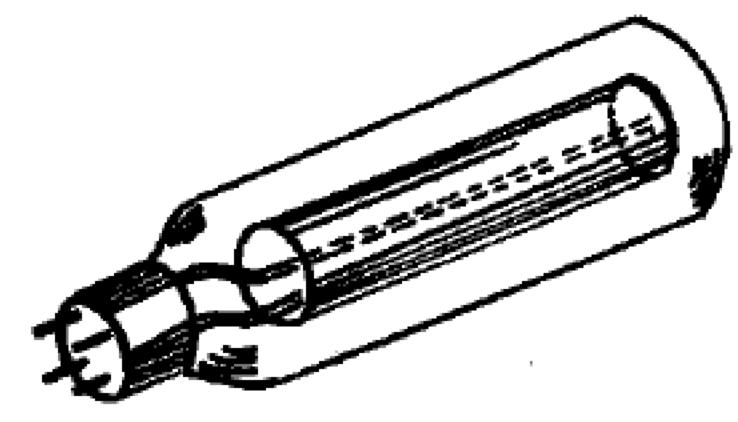


圖 14 — 43　標準蓋革管

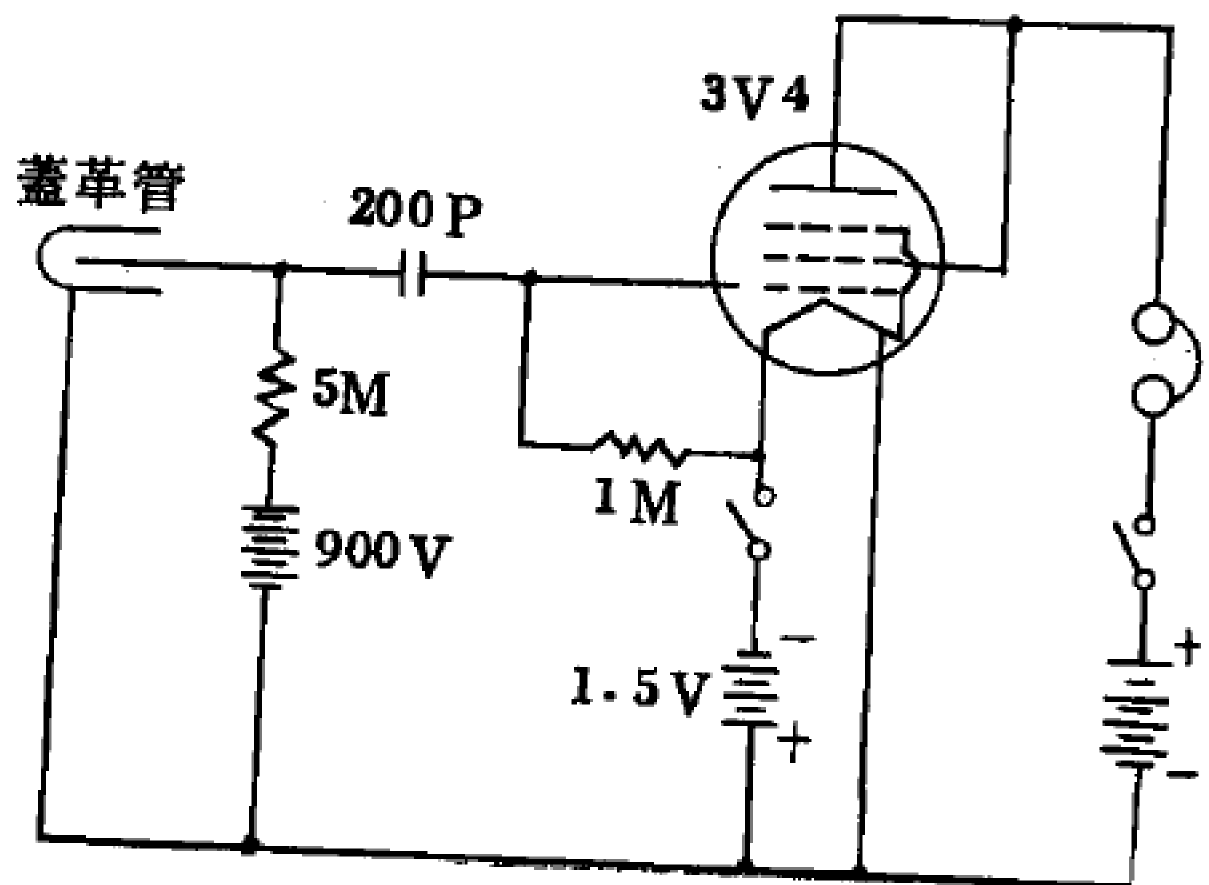


圖 14 — 44
最簡單之蓋革、牟勒計數器之電子線路

【蓋革、那托定律】（Geiger-Nuttall's law）

運用此定律之關係式可以計算壽命極短或極長之放射性物質的半衰期。

當放射α粒子放射體在衰變時，由實驗獲知其衰變常數λ與α粒子射程R有下列之關係：

$$\log \lambda = A + B \log R$$

式中A與B爲各放射系列的固有常數，此式稱爲蓋革、那托定律。此式表示粒子射程愈遠（能量愈大）的α放射體，其衰變常數愈大，即壽命愈短。

【蓋斯勒抽氣機】（Geissler's pump）

此器之構造如圖 14—45，其主要部分爲一長約四尺之玻璃管，近上端有一球形之室A，球之上部，有一活栓C，又有一枝管r，可連於欲抽出空氣之器，枝管r，有一活栓D，又主管之下端，接一厚膠皮管，以連於水銀槽B。用此器抽氣時，先將欲抽除其內空氣之器連於枝管r，開活栓C閉活栓D，擧高B，令水銀充滿A球內，次閉C，下B，則A室內成托里拆利眞空（*Torricelli's vacuum*），開D，則欲抽氣之器內空氣，擴散於A內而稀薄；次閉D開C，擧高B，則A內之空氣被逐出，復閉C，降下B，令A內成眞空，開D，則欲抽氣之器內所剩餘之空氣，擴散於A內，更形稀薄，如是反覆爲之，則器內之空氣，逐漸稀薄，終至成眞空。

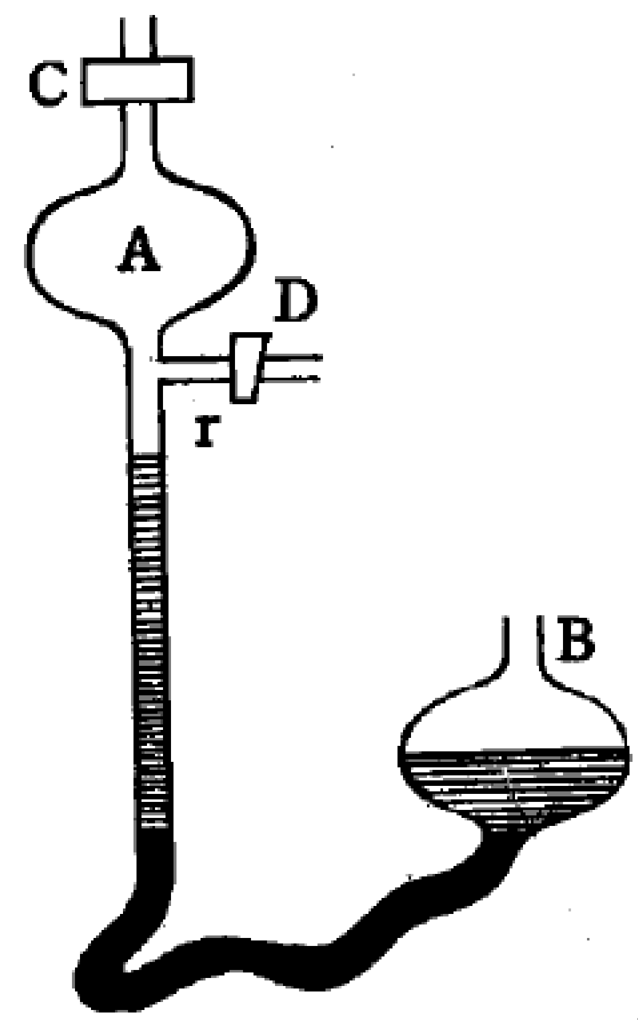


圖14—45

【蓋斯勒管】（Geissler's tube）

有時稱蓋斯勒放電管（*Geissler's discharge tube*）。使用於測知數$mmHg$～$10^{-3}mmHg$眞空度的眞空計。由小型感應圈或氖燈用變壓器等加10^{3}～10^{4}程度的電壓，則隨著眞空度，其管內放電狀態有變化。由此不同的放電狀態判定眞空度。

將壓力極低的氣體封入玻璃管中，這種氣體即可爲電流之良導體。此種低壓可用效率較高的抽氣機達成。蓋斯勒便是利用低壓氣體導電。以白金線封入玻璃管兩端，而將管內空氣抽除稀薄或抽盡，而入其他稀薄氣體之管。其形狀有多種，將其兩白金極連於感應發電圈（*induction coil*），通以電流，則兩極間放電，管內發美麗之光，管內氣體愈稀薄，其光愈連續不斷，氣體極稀薄時，則火花爲鱗狀。又管內氣體之種類不同，其火花之色及形狀亦各不同，以分光儀窺之，視其內氣體之種類

分別產生特有之光譜，故實驗氣體之光譜時，恆用此種裝置。一般的水銀弧光燈、霓虹燈等，即應用此理製成。

【蓋博】(Dennis Gabor 1900 -)

生於匈牙利之布達佩斯，入德國沙洛屯堡 (*Charlottenburg*) 的工藝大學獲工程博士學位。在柏林西門子分公司任研究工程師至1933年，然後轉赴英國拉格比 (*Rugby*) 的湯木生、休斯頓(*Thomson-Houston*) 公司。1949年成爲倫敦大學皇家科學技術學院副教授，後升教授，現爲退休的榮譽教授，但大部分時間花在美國康涅狄克州史坦福哥倫比亞廣播系統的實驗室裏。蓋博以發明立體照相術而獲得1971年諾貝爾物理學獎，這是利用光波波前的干涉作用而產生映像的新技術。他在1948年開始有這樣的構想，但因需要相角一致的光波以產生最好的效果，所以在1960年雷射被發明後，立體照相術的理論與實際才開始有了迅速的發展。

【蒸汽】(Steam)

液體在受熱沸騰後變爲氣體時，稱這些大量熱的氣體爲蒸汽。

參閱"飽和汽 (*Saturated steam*) "條。

【蒸汽渦輪機】(Steam turbine)

蒸汽渦輪機 (如圖14—46所示) 是一種轉動式的蒸汽機，利用高壓蒸汽的膨脹，直接轉動一個或數個固定於軸上的葉輪。在汽鍋內所生的高壓蒸汽，經輸汽管從一個或數個固定的噴嘴射出，衝擊輪周的葉片，使輪轉動，又叫蒸汽輪機。較大的動力設備，如火力發電廠和輪船的推進裝置，多採用蒸汽渦輪機。也有利用燃燒所生的高壓氣體推動的渦輪機，這種渦輪機叫做氣體渦輪機。蒸汽輪機可分爲衝動式 (*impulse turbine*) 與反動式 (*reaction turbine*) 兩大類：

1. 衝動式輪機——又稱速度式 (*velocity type*) 使高壓蒸汽自固定噴嘴噴出以衝擊固定之葉片。

2.反動式輪機——又稱壓力式（*pressure type*）活動葉片與固定葉片相間之處導入蒸汽，其直接壓力及固定葉片之反作用力均施於活動葉片上使輪軸轉動。一般汽輪機（*gas turbine*）構造原理與壓力式同。

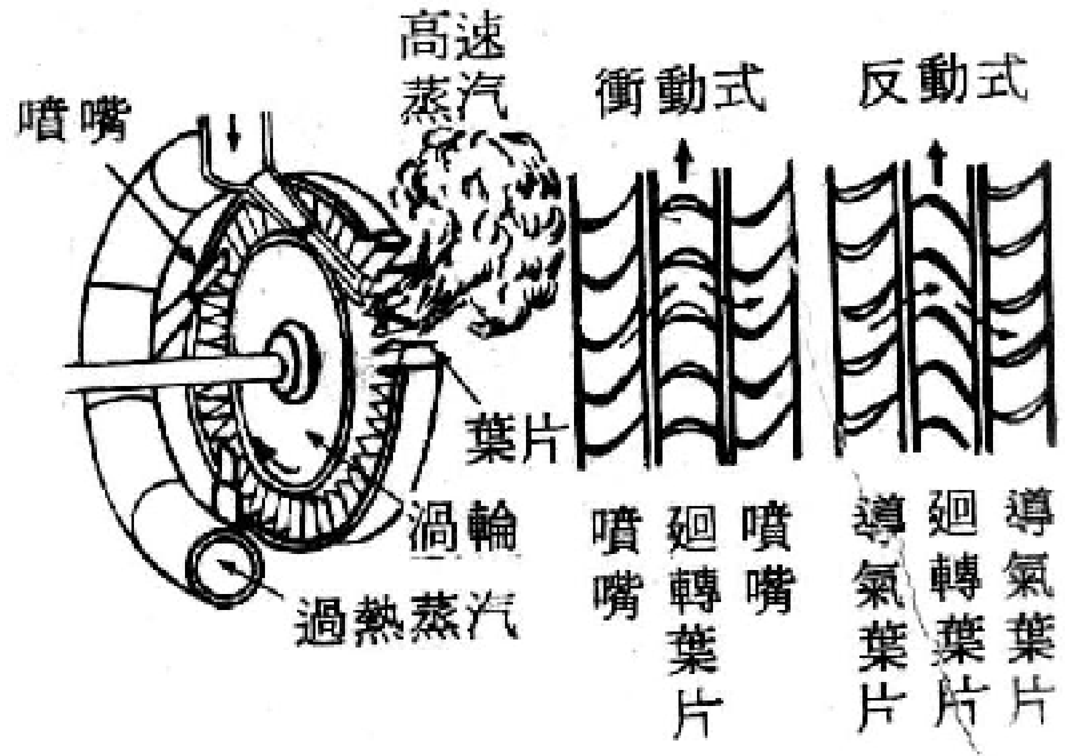


圖 14 — 46
蒸汽渦輪機之構造

【蒸汽機】（Steam engine）

【Ⅰ】蒸汽機的原理與構造

在鍋內產生的高溫，高壓的過熱蒸汽充入汽缸內時，即膨脹而推動活塞。由於水蒸氣受滑門的控制而左右交互充入，所以活塞便被左右推動。這種往復運動經曲柄而變成旋轉運動的機器就是蒸汽機，其構造如圖 14 — 47 所示。

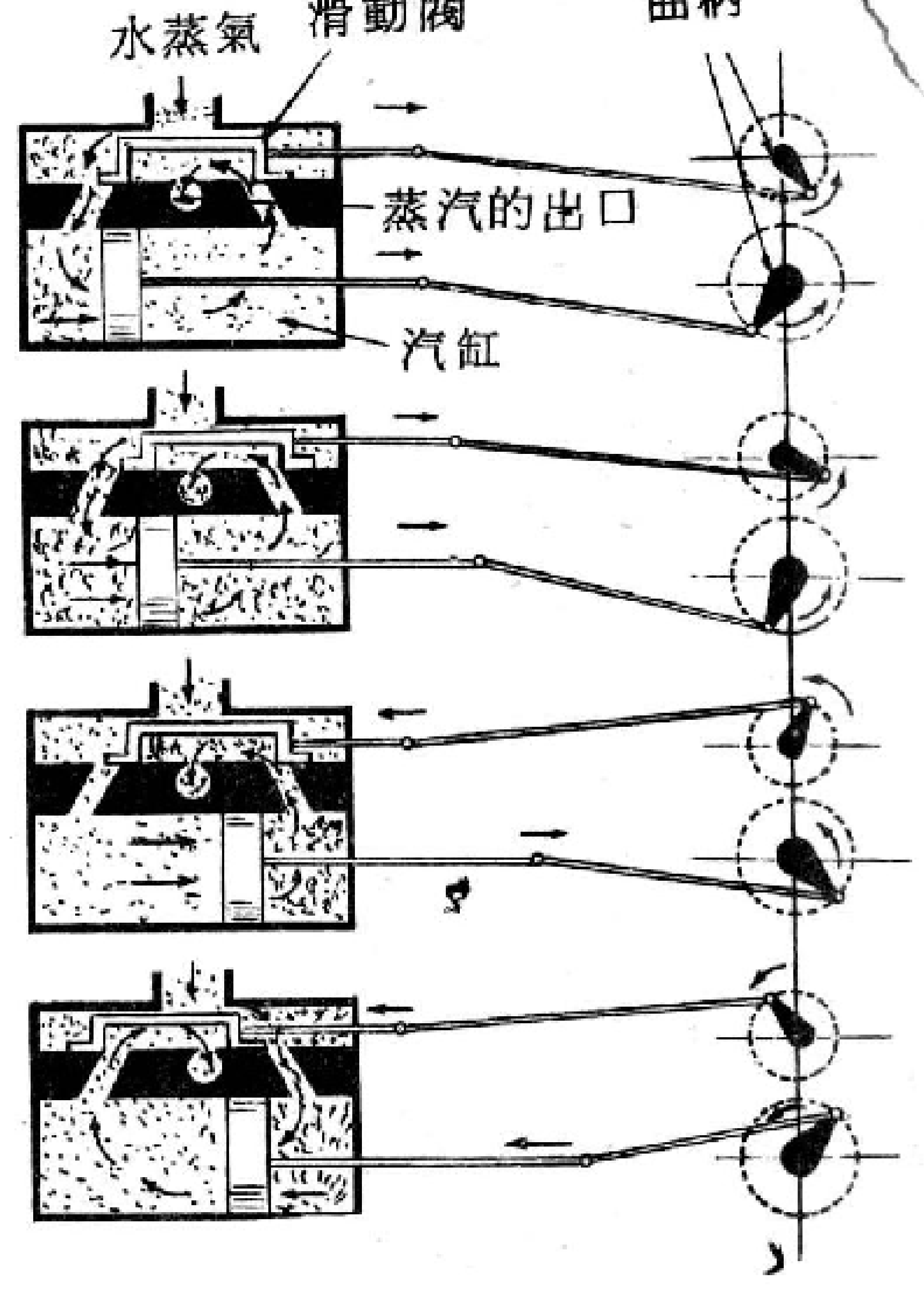


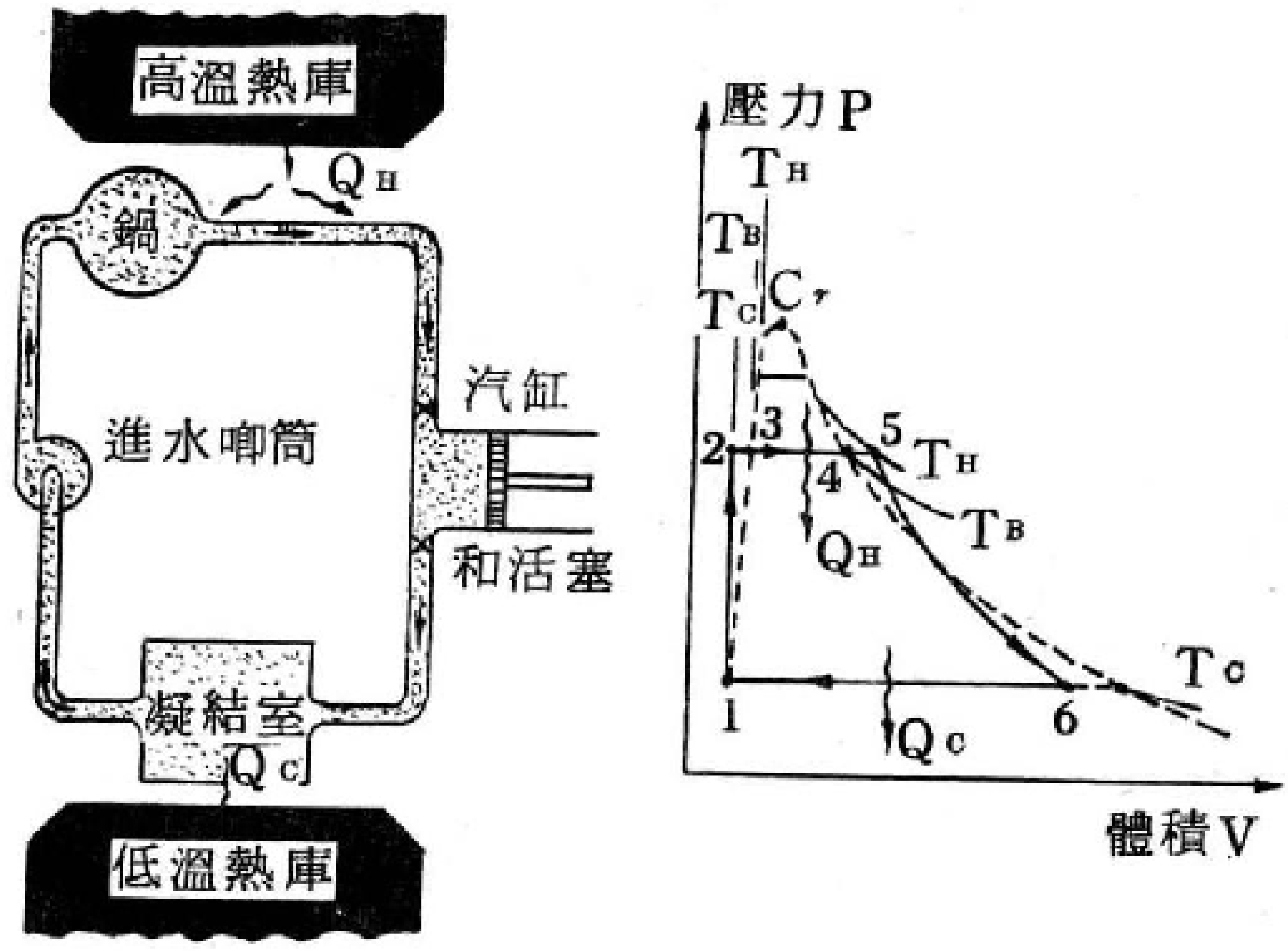
圖 14 — 47　蒸汽機的構造

蒸汽機的實際操作中，有些過程使我們不易對它作精確的分析。這些過程是：(1)蒸汽由機內某部分流向另一部分時，所需的壓力差，造成的加速和擾流，(2)摩擦，(3)蒸汽膨脹時經由機壁發生的熱傳導，(4)爐與鍋間之有限額的溫度差所引起之不可逆熱傳播。

蒸汽機問題之初步近似解法，是要引入一些簡化性的假設雖然這些假設實際上不會實現，但這近似解法至少可以指出該熱機的效率之上限（*upper limit*）。這近似解法定義出一種循環叫做冉欽循環

(*Rankine cycle*) 藉著這循環，我們可以討論蒸汽機的眞正行徑。

圖 14 — 48 (*b*)畫出水的 *P - V* 圖上的三條等溫線：一條對應於凝結室溫度 T_C，一條爲鍋溫度 T_B 時的，第三條則對應於更高的溫度 T_H 。虛線分別是液體及蒸汽的飽和曲線。在冉欽循環中，我們假設一切過程都是理想地進行著；因此，可以消除由於加速、擾流、摩擦和熱流失所引起的複雜性。圖中點 1 代表處於凝結室溫度，壓力狀況的一磅飽和液態水，由開點開始，那些水循序經過 6 個過程，而成爲一個冉欽循環，其循環過程如下：



(a)蒸汽機原理　　(b)冉欽循環的 P - V 圖

圖 14 — 48

1. 1 → 2　水作絕熱壓縮，壓力增至與鍋中壓力相同（這過程中，溫度只發生很小的變化）。
2. 2 → 3　水溫經等壓加熱而升至沸點。
3. 3 → 4　水因等溫汽化而變成飽和蒸汽。
4. 4 → 5　蒸汽因等壓過熱而變成溫度爲 T_H 的過熱蒸汽。
5. 5 → 6　蒸汽作絕熱膨脹，變成濕蒸汽（ *wet steam* ）。
6. 6 → 1　蒸汽作等壓等溫凝結，變成溫度爲 T_C 的飽和水。

在 2 → 3 ， 3 → 4 ， 4 → 5 諸過程中，有熱量 Q_H 自高溫熱庫進入系統中； 6 → 1 的凝結過程裏，則有 Q_C 的熱量由系統傳給溫度爲 T_C 的

低溫熱庫。這凝結過程是使系統回到起初狀態 1 所必須的。由於水在凝結時總是要放出熱，所以不可能使 Q_C 等於零，因而輸入的 Q_H 不可能完全轉變爲功。

【 II 】蒸汽機之發展

談到蒸汽機的發明，一般人就會聯想到瓦特（*James Watt* ）。事實上瓦特的創造天才雖不可否認，卻不是蒸汽機的發明人，而只是最重要的改良者。他提高了蒸汽機的效率而使它有決定性地成爲一具廣泛用途的機械。

最初對動力機有急切需要的地方，只是礦場中的抽水工作。從一個很深的豎坑，將無數噸的水抽上來需要大量的功，在那些勞工經常或有時不足的國家，常感到使用人力太多。在接近水力的地方，可以使用水車驅動抽水機；然而很多地方是沒有水力可資利用的。在那些地方，機械動力的迫切需要強烈地刺激了工程師們的創造精神。

最初用於抽水機燃料驅動的引擎遠溯 1650 年，由葛瑞克（*Otto von Guericke* ）創造。他是麥格德堡市（*Magdeburg* ）的市長，也是壓風機的發明人。圖 14 — 49 所示爲壓風機用管路連接到以活塞堵住了汽缸的示意圖。假若

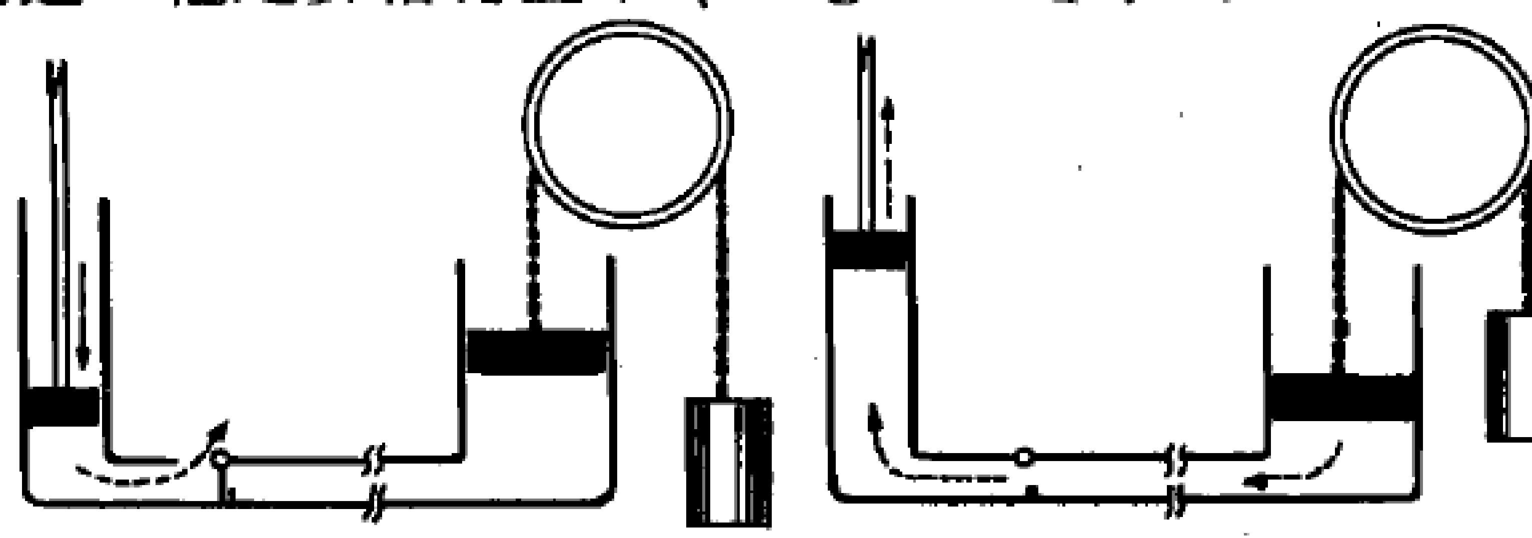


圖 14 — 49　葛瑞克的動力傳送機械

汽缸下部抽去了空氣，大氣壓力就推下活塞，因可利用槓桿傳動舉起負荷，或作一些其他有用的功。這種的機具目前已廣泛應用於無數鐵路車輛的眞空剎車，其作用僅是傳送而不是生產機械功。

第二步爲實際用於礦場中抽水作業的燃料發動動力機。其原理如圖 14 — 50 ，爲 1698 年沙華瑞引擎（ *Savery's engine* ）的示意圖。這

具引擎包括鍋爐 B 和交替連通兩個橢圓形容器 V 及 V'，容器又有一根管子通向豎坑欲抽取的水中。當閥 m 打開時蒸汽進入容器 V，於是容器 V 中的空氣或水被擠，經閥 n 和排出管 t 排到外面來。閥 n 和 p，n' 和 p' 僅向上開。待 V 中充滿蒸汽後閥 m 就關閉，就有一股冷水從上面的水槽噴在 V 器的外表而引起蒸汽凝結，因此在 V 中造成眞空，水就經 S 管和 p 閥吸入到幾乎塡滿 V 爲止。於是 m 閥再被打開，下一個循環重新開始。m'、n' 和 p' 三閥的開關和上述動作相差 180°，因此當 V 進水時，V' 就進蒸汽，反之亦然。

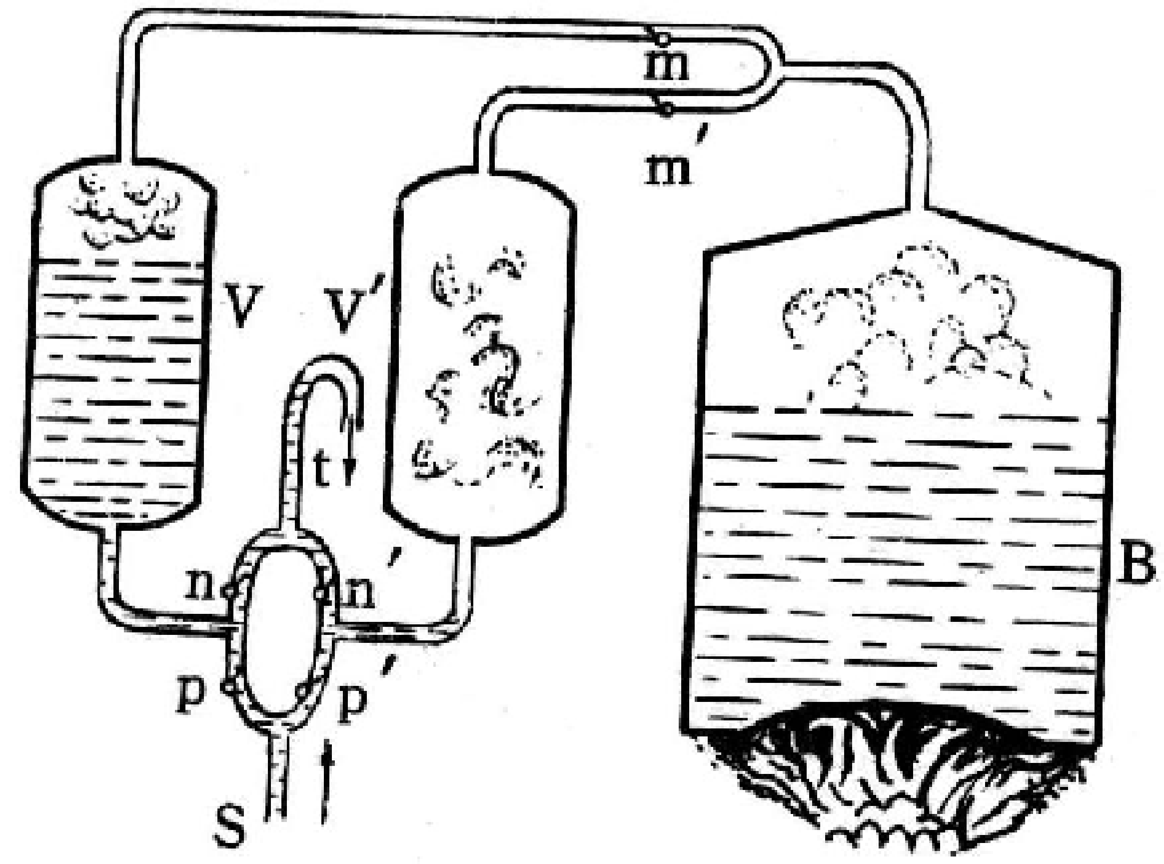


圖 14 — 50　沙華瑞式蒸汽機

應用活塞的觀念最初爲法國發明家巴班（*Denis Papin*）建立，裝在他粗製的引擎中。到 1705 年，牛康曼（*Thomas Newcomen*）和他的助手柯理（*John Cawley*）正式應用到沙華瑞蒸汽泵上。

圖 14 — 51 所示牛康曼引擎，其中一活塞是用連桿和鍊條連接在橫樑 C 上，C 的另一邊裝有泵桿 P 和平衡錘 W。蒸汽進入汽缸後，頂起活塞到上死點，卽關閉蒸汽閥。此時有一股冷水噴入汽缸，引起蒸汽凝結而產生眞空，結果大氣壓力將活塞壓下，拉下橫樑右臂，促使接於其左臂的水泵作功。

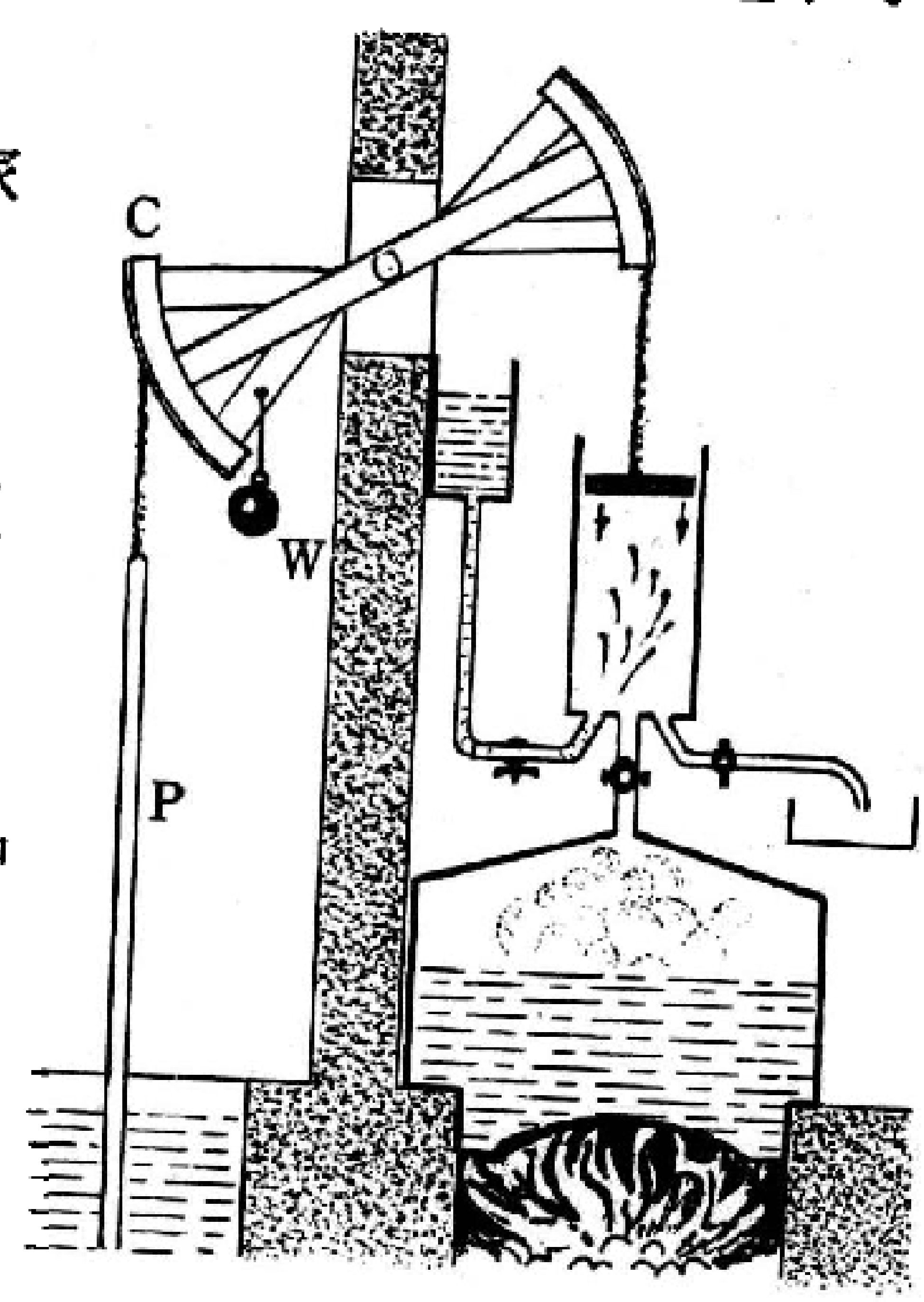


圖 14 — 51
牛康曼和柯理的蒸汽機

牛康曼的蒸汽機爲許多英國煤礦抽水用了半個世紀，直到1763年瓦特出現，才將之改良，因他體認出牛康曼蒸汽機爲了凝結汽缸的蒸汽須使極大質量的活塞和汽缸交互冷卻和加熱。爲避免在這項過程中所引起的浪費，必須使汽缸永遠保持熱度。所以瓦特在這具引擎中加了一種新的機構，一個分開的冷凝器。當活塞在返回衝程時，把蒸汽引入冷凝器，而爲包圍於冷凝器外周的冷水所凝結。汽缸本身一旦不再用作冷凝器後，可以在它外面包裹絕熱材料而保持熱度。這項改進於1769年獲准專利，不僅避免了因巨大質量的交互加熱和冷卻而浪費蒸汽，而且也增加了蒸汽進排汽往復循環的速度。

1781年瓦特又介紹一種使活塞的往復運轉變成一支帶有飛輪軸的迴轉運動而獲得第二次專利。原只限於抽水目的的引擎，而現在可以擴展到今天爲每個人所熟知的各種驅動機械。

1782年瓦特爲發表另兩項改進而獲得第三次專利。其一是我們在玩具引擎中所熟知的雙動式活塞。汽缸兩端都封閉，活塞桿則通過一個防止蒸汽洩漏的填料盒而伸出汽缸之外。汽缸一端與冷凝器連接時，蒸汽則進入汽缸的另一端。反之亦然。但因製造眞正有效的填料盒的技術困難，致使此機的應用延後。大約到1800年，闕維祺（*Trevithick*）才製成了完善的雙動式引擎。

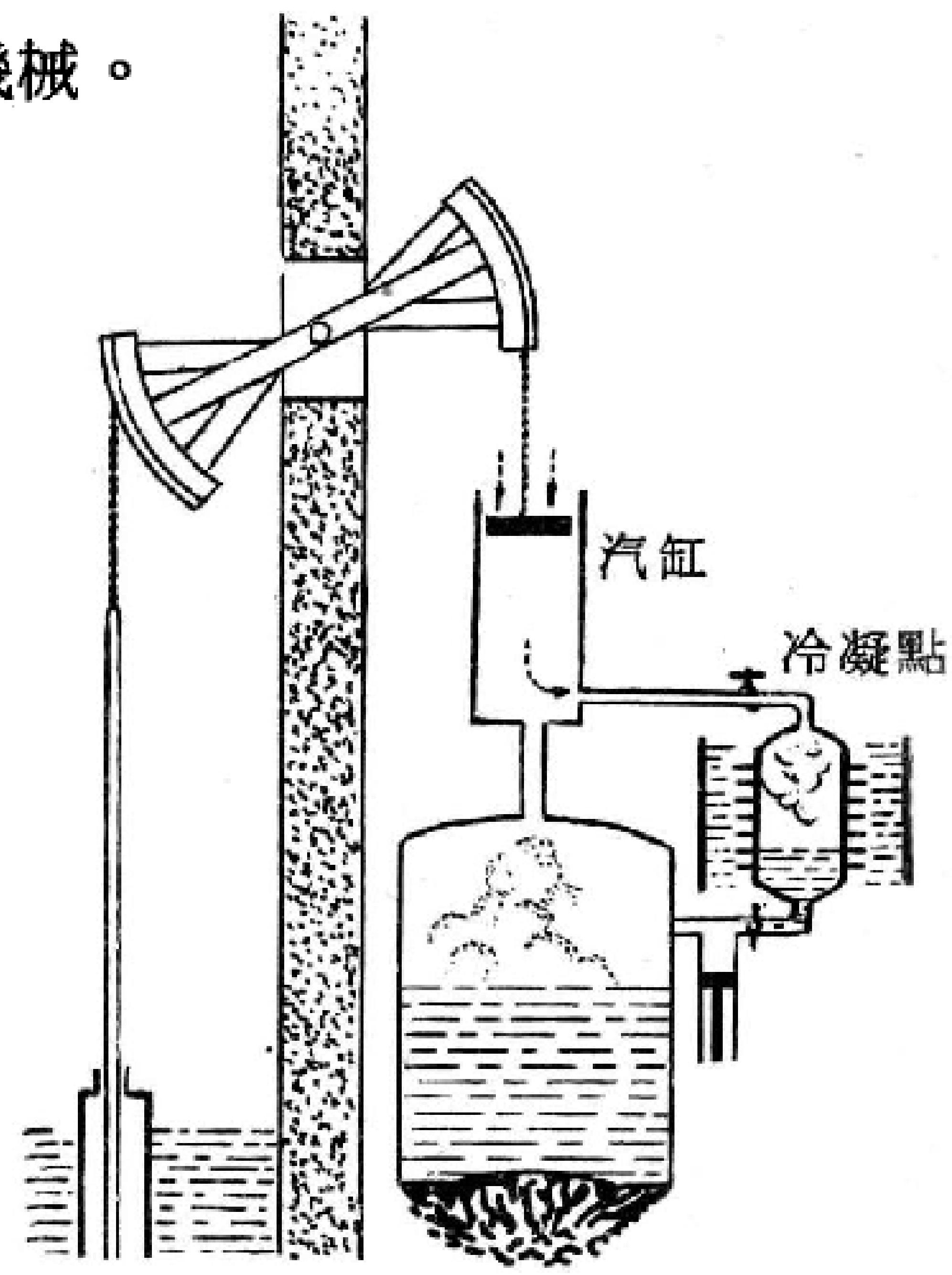


圖 14 — 52　瓦特的蒸汽機

另一項重要的改善爲蒸汽膨脹的應用。在第一具蒸汽機中，蒸汽進入汽缸推動活塞，在整個前進衝程中，每一衝程末了，排汽閥一開，仍具壓力的廢汽就噴入冷凝器中，以致浪費了大部分的能量。所以，爲確保

良好的燃料經濟，瓦特改良了閥動裝置。使活塞只移行全衝程之一部分就停止進汽，而讓蒸汽在其餘部分衝程從鍋爐壓力膨脹到冷凝器的低壓。例如以 50%的進汽因數（進汽閥在衝程一半時關閉）運轉，削減了 50%的蒸汽消費量，但每衝程卻只減少 30%的功。即應用這樣的方法，增進了 7／5 原有的效率。

更進一步的發展為1781年洪博羅（*Johathan Hornblower*）設計的雙汽缸複脹式蒸汽機。蒸汽首先進入較小的汽缸以鍋爐高壓推動活塞，膨脹作功後減成中壓，再進入較大的汽缸推動活塞，膨脹作功後減壓到冷凝器壓力。這種構造發生的運動更均勻，同時由於將整個膨脹範圍分成兩部，而減低了汽缸壁因加熱和冷卻所引起的損失。高壓汽缸永遠保持較高溫度，而低壓汽缸則在較低溫度。

所有這些改進提高了工作效率，並且蒸汽機的燃料經濟雖仍很低，但已從瓦特時代前的極端低值提高到足以擴大使用範圍的水準，終於應用到運輸工具。瓦特蒸汽機從它的始祖到後代，當時葛瑞克眞空裝置的啓示和鼓勵，有決定性影響。因為它引導這種引擎在熱循環的低壓方面應用了冷凝器，而不似玩具引擎和鐵路機車，把廢汽直接排入大氣。

應用冷凝器改進效率的成功為蒸汽機的推廣舖了路，也幫助了技術時代的用戶。但在鐵路上行駛的機車不可能裝冷凝器——甚至在今天仍無實用之可能。因為要取得比大氣壓力還要低得多的眞空壓力，必須將冷凝器充分冷卻，故要大量的冷卻水。

【蒸汽機車】（Locomotive）

蒸汽機車是利用蒸汽為動力之火車頭，這種舊產品現已漸被淘汰，成為博物館的陳跡。機車裏有一個火櫃，燃火使水變成蒸汽。機車座蓋下面有一個門，打開了就通往火櫃。火櫃構造非常簡單，就是一個燒火的竈，用煤或油來發火，火的熱和煙，經過熱水管通往煙囱，水管裏的熱水就成了蒸汽。蒸汽膨脹充滿水管上方的汽箱，這時熱水管周圍和汽

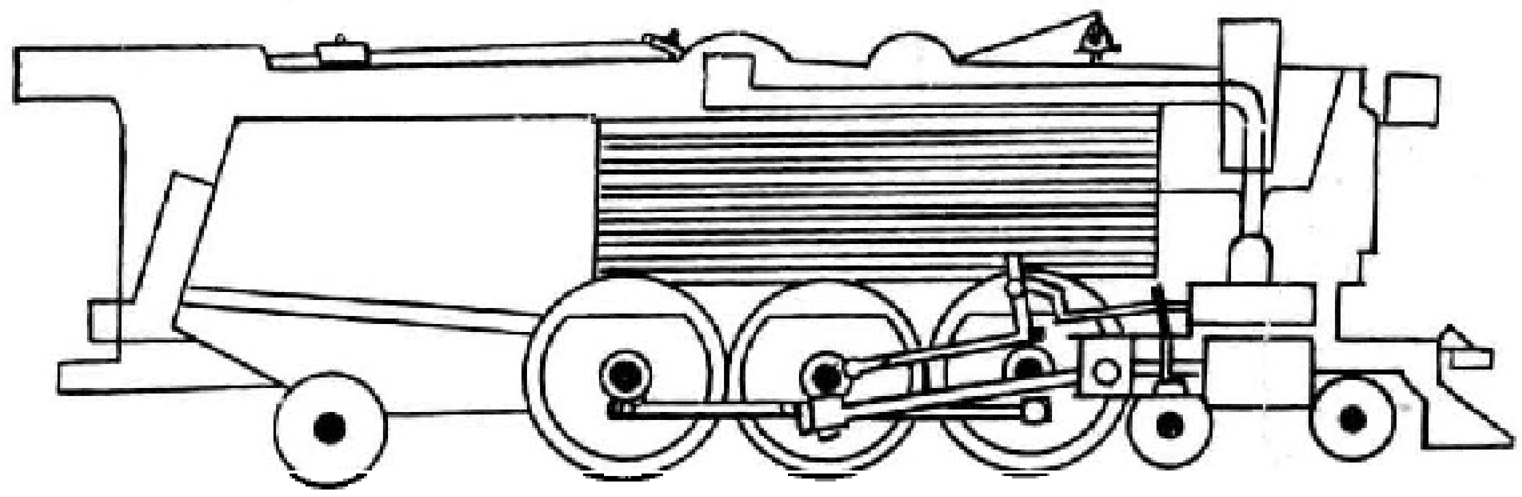


圖 14 — 53

機車的斷面圖。從圖上可以看出熱水管，和帶著蒸汽進入活塞的導管。熱水管後面空白地方就是火櫃

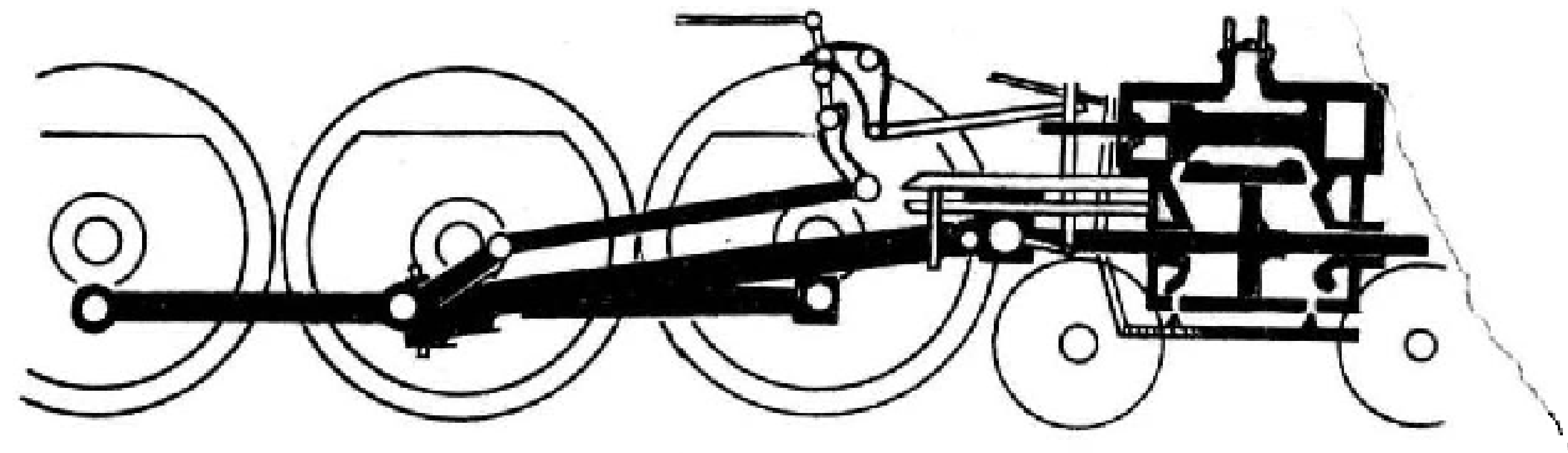


圖 14 — 54　近代機車上的活塞

箱內的蒸汽壓力就非常強大了。在汽箱上有一個彈簧的活瓣可以開閉。蒸汽有了足夠的力量，就會衝開活瓣出來。直到蒸汽壓力減小，彈簧又會把活瓣關閉起來。

開動機車座前的一個手柄，就是開啓了從汽箱到活塞罐或汽缸的引擎。蒸汽衝出通過引擎到了活塞罐。活塞罐也叫做汽缸，就在機車外兩旁前面的小飛輪上，後面就是巨大的牽引輪。每一個汽缸裏有一個活塞，用鋼桿與牽引輪連結起。蒸汽衝擊活塞，活塞衝擊鋼桿，鋼桿轉動飛輪，於是機車就開始行動。

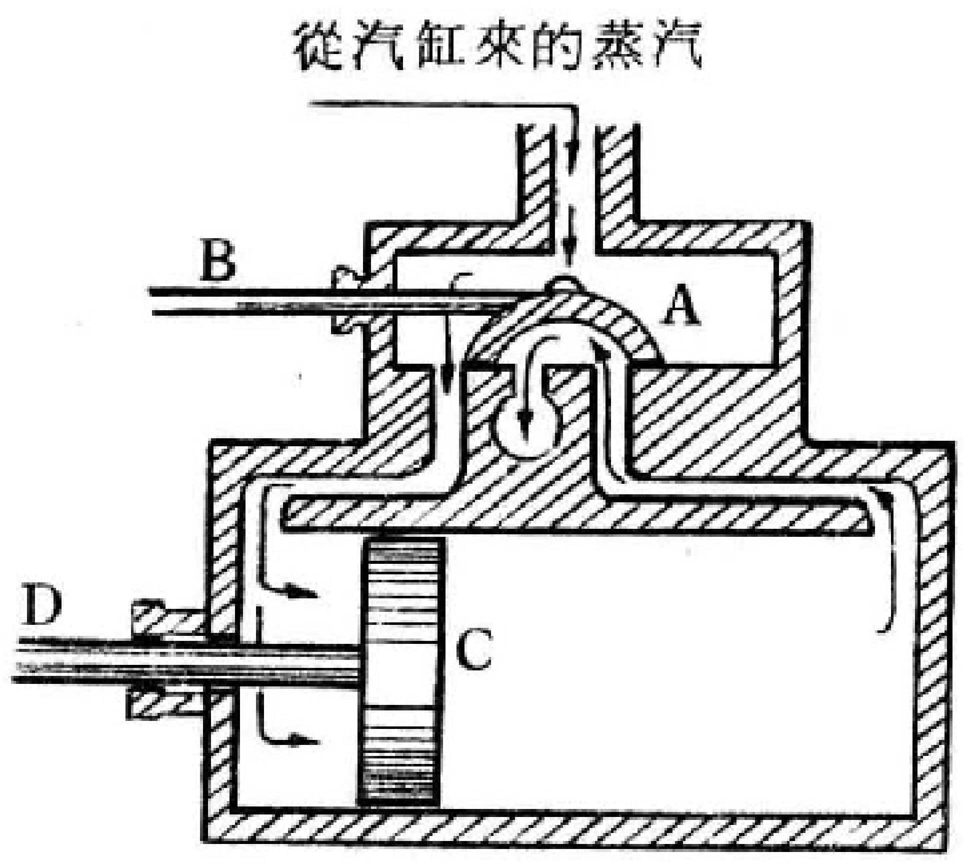


圖 14 — 55

如圖 14 — 55 所示，蒸汽從汽缸進入活瓣罐 *A* 裏。車輪推動車扦 *B* 而使它發生前後的運動。當活瓣向右時，蒸汽就從左方開口處進入，衝擊活塞 *C* 向右，如箭頭所示。活塞向右時活瓣向左，而使左方開啓右方關閉。蒸汽衝入右方開口使活塞後退向右。活塞推動機輪作前後運動，是因爲活塞桿 *D* 和車輪是相連的。

蒸汽把活塞向後方衝到要到底端時，就有一個小小的活瓣，把蒸汽轉引入活塞的另一面，於是蒸汽又把活塞衝向前去。同時在活塞前一個

孔啓開了把蒸汽放掉。活塞先被蒸汽衝到後面，接著蒸汽又把活塞衝向前面，這樣一後一前，活塞桿就一推一拉著牽引輪轉動起來。機車兩旁的活塞一起像這樣運動，機車就在軌道上前進了。

要使機車倒退行駛，機車手只要拉動另一個手柄，使活塞先拉後推，這樣活塞桿轉動車輪時就是倒退的了。

近代的大機車比所說的要複雜些。有一種機器在蒸汽通過汽缸消失後，能夠把蒸汽再行加熱。此外還有空氣利車、熱力機、發電機、蒸汽壓力機、汽笛、電燈、沙管和種種精巧的小機件。

【蒸汽點】(Steam point)

即純水在一大氣壓下沸騰時之溫度，即沸點。

參閱“沸點(*Boiling point*)”條。

【蒸汽壓】(Vapour pressure)

即汽壓。

參閱“汽壓(*Vapour pressure*)”條。

【蒸汽壓計】(Vaporimeter)

測量蒸汽壓力之儀器，通常稱之爲汽壓計。

【蒸發】(Evaporation)

在任何溫度下，液體表面逐漸汽化的現象，稱爲蒸發。與空氣接觸面積較大，水汽較容易逃逸，如同量的水，放在杯中和放在盤內，放盤內的水蒸發得較快。另外液體的性質、溫度的高低、空氣是否乾燥和有沒有風等，都會影響蒸發的快慢。如把分量相同的水，放置表面積相同的燒杯，放在不同溫度的地點，溫度高則蒸發快溫度低則蒸發慢。水面附近的通風

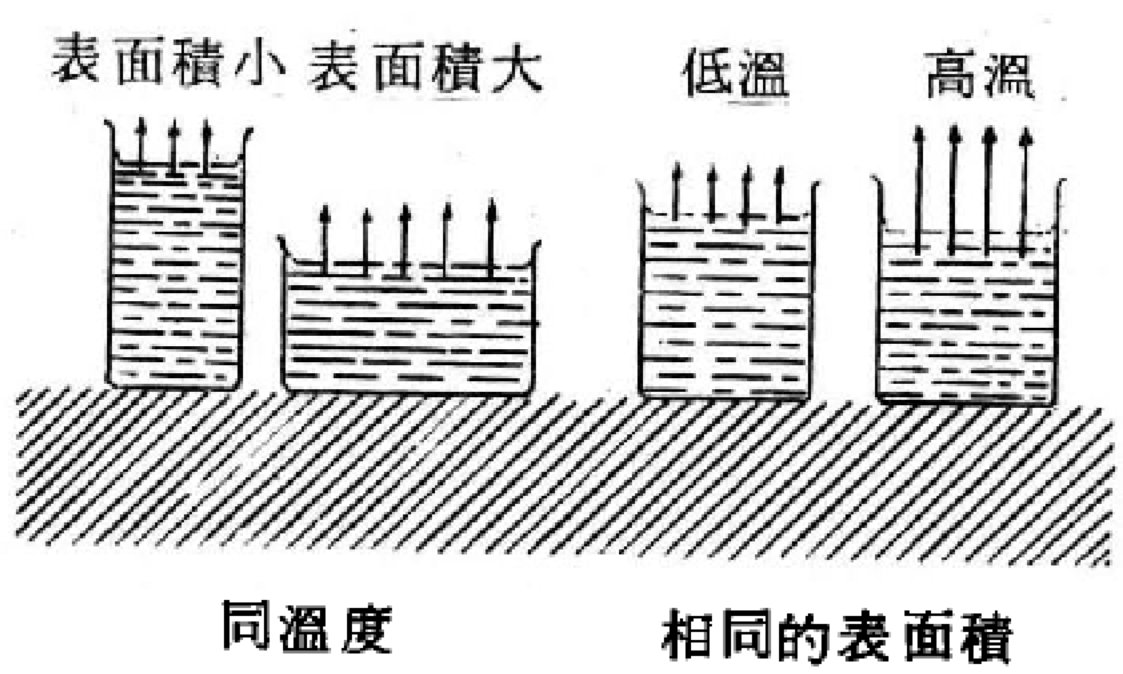


圖 14 — 56

越好，蒸發也越快。

若在一密閉系內討論液體的蒸發情況，我們知道密閉系內最後必達到平衡狀態（*equivalent state*），也就是蒸發的分子數與凝結的分子數相等。此時蒸發速率，決定於液體的密度和溫度。

【蒸發冷卻】（Evaporating cooling）

蒸發時所需要的熱量由於缺少外來的熱源，係取自液體本身所儲熱量，液體乃因而冷卻。此一現象我們稱爲蒸發冷卻。

此種冷卻作用，可用物質動力論加以解釋。物質分子在一固定溫度下並非具有同一速度，而是以接近一平均值而積聚在一起的，此一平均值即平均速度。蒸發作用，是由於那些速度超過平均值甚多的液體分子克服其四鄰內聚力之影響而逃出液體表面所致。液體如此不停地喪失其運動最爲迅速的分子，則留存在液體中的分子，其平均速度終會減低下來。此項平均速度之減低也就是液體溫度之降低，因此冷卻程度和液體分子逸失情形成正比，也就是和蒸發情形成正比。乙醚蒸發得非常迅速，所以也冷卻得愈快些。

又如我們用乙醚、酒精或水將手沾濕時，便會發生涼爽的感覺，倘再將手來回揮動，也就是促使空氣流通時，更能加強這種感覺。將乙醚噴成霧狀使其蒸發，或是利用氯乙烷，均可使只限於需要開刀部分的人體，因強烈冷卻作用而變成痲木，此即所謂局部痲醉。

【蒸發計】（Evaporimeter）

測量水蒸發速率的儀器。

【蒸發熱】（Heat of evaporation）

平常注射時，用酒精擦在手臂上，感覺十分涼。這是因爲它蒸發時從手臂上吸收相當量熱的關係。如此液體不在沸點而以蒸發形成汽化時，每公克所需的熱量就叫做蒸發熱。其值隨溫度而變，和汽化熱相差不大。

【蒸餾】(Distillation)

當溶液沸騰時，首先汽化者爲溶劑，應用此種方法將溶劑與溶質分開，以得純淨物質的過程，稱爲蒸餾。

蒸餾所用的設備叫蒸餾器，構造如圖 14—57。曲頸瓶A用以盛裝欲蒸餾之溶液，以火焰使之沸騰，化成蒸汽流入蛇管B中。蛇管先入於盛多量冷水之器具中，冷水不斷從下部注入；蒸汽被冷卻而凝結，滴入收容器C。被蒸汽傳熱之冷水，不斷從上部流出；不能汽化之物質仍殘留於A內。

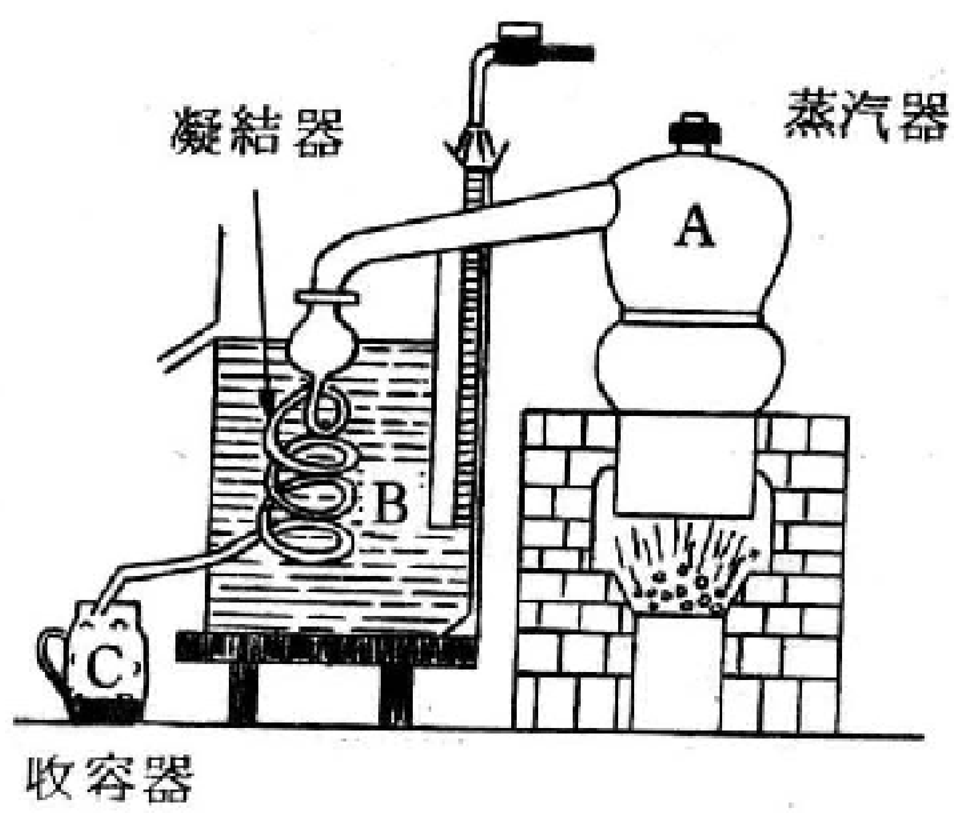


圖 14 — 57　蒸餾器

我們利用蒸餾方法得純淨液體，但有時亦爲得到留在蒸汽器中的固體，如糖廠作業。爲了避免糖被燒焦，利用空氣唧筒將蒸汽器抽成眞空，使能在低於 100°C 溫度下，將糖之溶液蒸發。

如果是一種混合液體，譬如是水和酒精的混合液體，則在沸騰中便有兩種液體之蒸汽上升；而沸點介於該二組成液體的沸點之間。混合液中含水之百分量愈大，則此混合液之沸點愈高。當含有 66%酒精時，在 83°C時便可沸騰;但如僅含有 10%酒精時,便要達到 90°C 方能沸騰。所以在混合液沸騰之時，該二液體的蒸汽壓力互異，其中又以酒精之蒸汽壓力較大；這就是說，在此兩種液體中，蒸汽壓力較大的液體，即標準沸點較低的液體，其所產生之蒸汽亦較佔優勢。經過混合蒸汽的凝結作用，我們可得到一種酒精百分量較多的混合液。如再經過多次重複蒸餾時，便能增進酒精的純度。此種過程我們稱之爲分餾。

進行蒸餾時,蒸汽器中液體的組合比例是有變動的。如果溶解在液體中的是一種固態物質，則此一溶液之濃度便會增加，這是因爲溶解物質不能一同汽化的緣故；如爲混合液體時，則較易於汽化的那一分液體便

會減少下去。但不論怎樣，在這兩種蒸餾過程中，蒸汽器中的溫度總是增高的。

在自然界中，大至海洋，小如河池中的水恆在不斷發生汽化作用。上升的水汽在凝結以後，又變成雨水落下。因此，雨水在降落時如無雜質重新混入，則雨水應爲純淨的蒸餾水。

【蒸餾水】（Distilled water）

蒸餾水是由沸水的蒸汽凝結而成。沸水化汽後便升騰流入凝結器中，將所有不潔物，特別是金屬物質，遺留在蒸汽器中。

【蒸餾器】（Distiller）

參閱"蒸餾（*Distillation*）"條。

【製冰機】（Freezer；Congealer）

製冰機使用氨氣。氨的沸點是一大氣壓下－33.4°C，所以在常溫下是氣體。把氨壓縮，便成爲液體氨。把液體氨從小孔噴出，便發生汽化，這時能從按配在周圍的氯化銨溶液（或食鹽水）中吸取汽化熱，而變冷了的溶液，再從容器中的水吸取熱，使水結成冰。

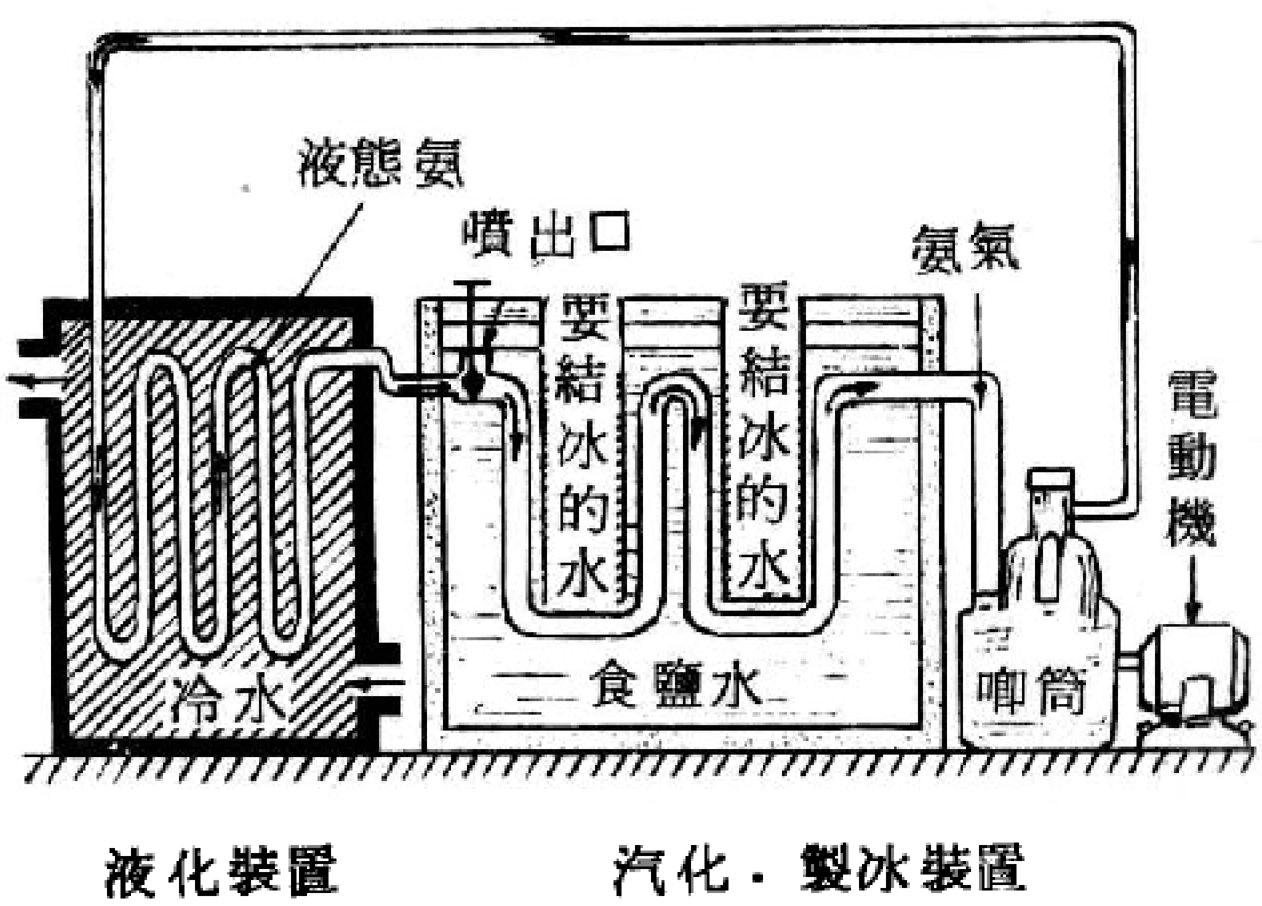


圖 14 — 58　製冰機

【複式天線】（Array antenna）

由幾個單位組成的天線。

【複式換片器】（Intermix record changer）

包括多種大小不同之唱片，可自動翻換唱片之裝置。

【複式雷達】（Secondary radar）

傳送電波至半程中，另加自動再發射的裝備。

【複式管】(Multiple valve)

一個管泡，但裏面卻有兩個獨立電子管或多過兩個以上的電子管。

【複式蒸汽機】(Compound engine)

複式蒸汽機可使蒸汽經受更大的膨脹，而作更有效的利用。蒸汽先在第一汽缸中膨脹至壓力爲原來之半（亦即體積爲原來之倍），但不直接逸入冷凝器，而被導入截面積較大的第二汽缸中繼續膨脹作功。圖 14—59 所示爲兩段複式蒸汽機（*two-stage compound engine*）。第一汽缸 A 位於第二汽缸 B 之上方，蒸汽由 Z_1 管與滑瓣套進入高壓汽缸 A 的下邊（此時其壓力與鍋爐中之蒸汽壓力相同），將上方之活塞擧起。仍然留在汽缸 A 上方之蒸汽，則由上邊的滑瓣套離開，經由 Z_2 管進入下邊的滑瓣套，再進入低壓汽缸 B 的下邊。此時，膨脹中的蒸汽遂將低壓汽缸的活塞推起（推的方向跟高壓汽缸活塞的推擧方向相同），廢汽則經由 C 進入冷凝器（三段複式蒸汽機的設計是令蒸汽經過第三個更大的汽缸作功之後，再排入冷凝器），如將兩個汽缸的活塞連在同一根活塞桿上，則成一串聯蒸汽機（*tandem engine*），其構造如圖 14—60 所示。

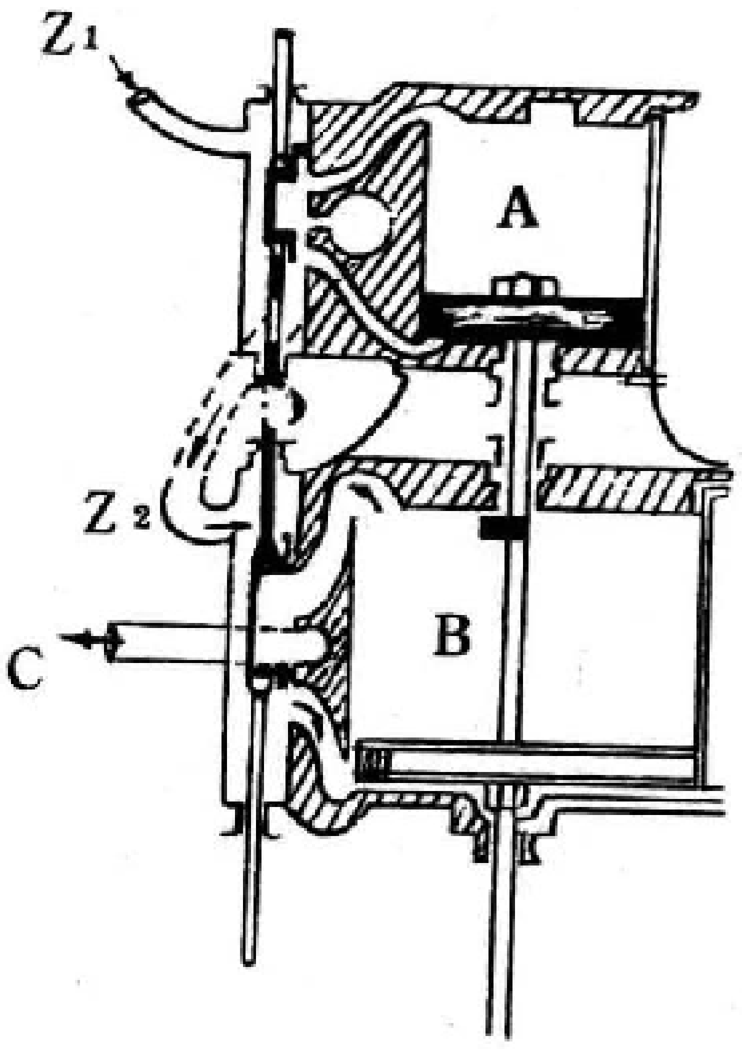


圖 14— 59
兩段複式蒸汽機

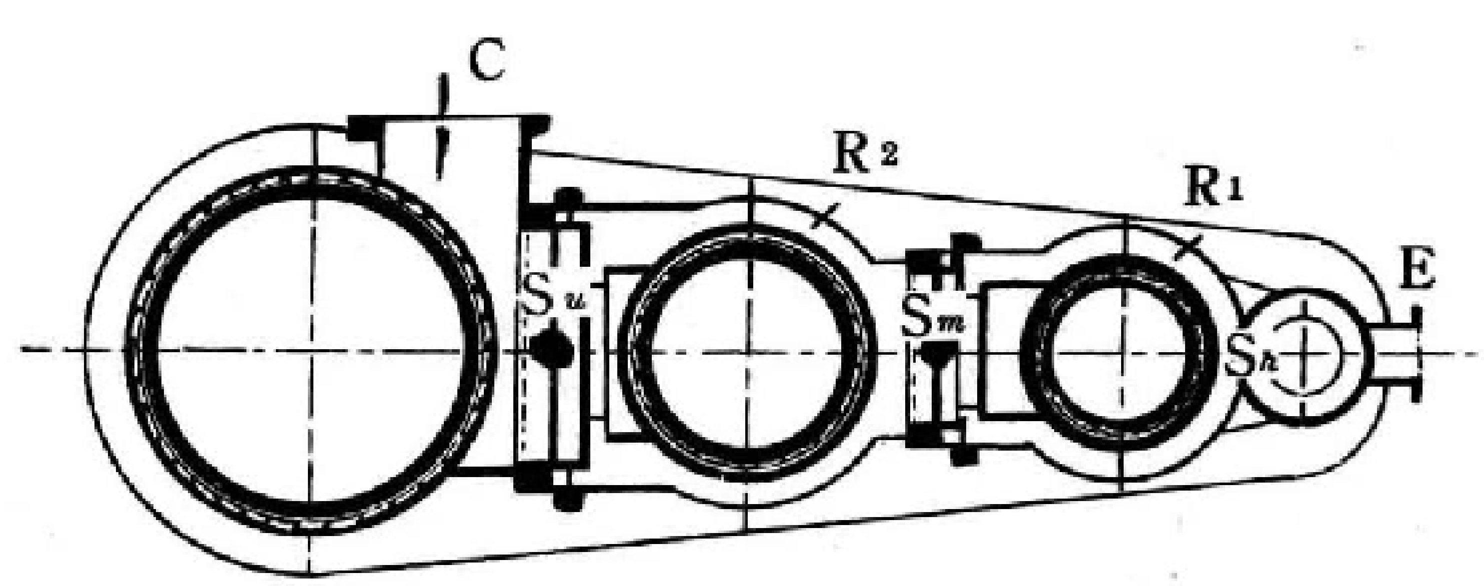


圖 14— 60
高壓、中壓、低壓汽缸（由左到右）

圖 14—60 所示，爲三個汽缸構成的複式蒸汽機。由圖上可以看出，汽缸係以並排的方式

安裝。圖中之S_h為一圓柱形滑瓣，此一滑瓣令蒸汽由E進入高壓汽缸。進入高壓汽缸的蒸汽膨脹後，由滑瓣S_m進入中壓汽缸，最後由滑瓣S_u進入低壓汽缸，並從該處通過C逸出至冷凝器。三個汽缸的運動，係由一連桿傳至特製的曲柄或偏心輪。

【複合光】(Complex light)

經三稜鏡折射，可色散為數種顏色之光。複合光經稜鏡後色散是因各色的光在玻璃內速度不同的緣故。

【複合星】(Multiple star)

即聚星。

參閱“聚星(*Multiple star*)”條。

【複波】(Complex wave)

簡諧型式之波，在任何時刻之位移均以正弦曲線表示。任何數目之此類波有相同頻率和速率但振幅和相位不同時，重疊後仍得此種簡單型式之合成波。但若不同頻率之波重疊，則合成波為複波。在複波中質點之運動不再是簡諧運動，而波形也不再是正弦曲線。觀察圖解法相加兩個或更多個波之結果，此諸波在相同方向以相同速率進行，但有不同之相對頻率、振幅及相位。

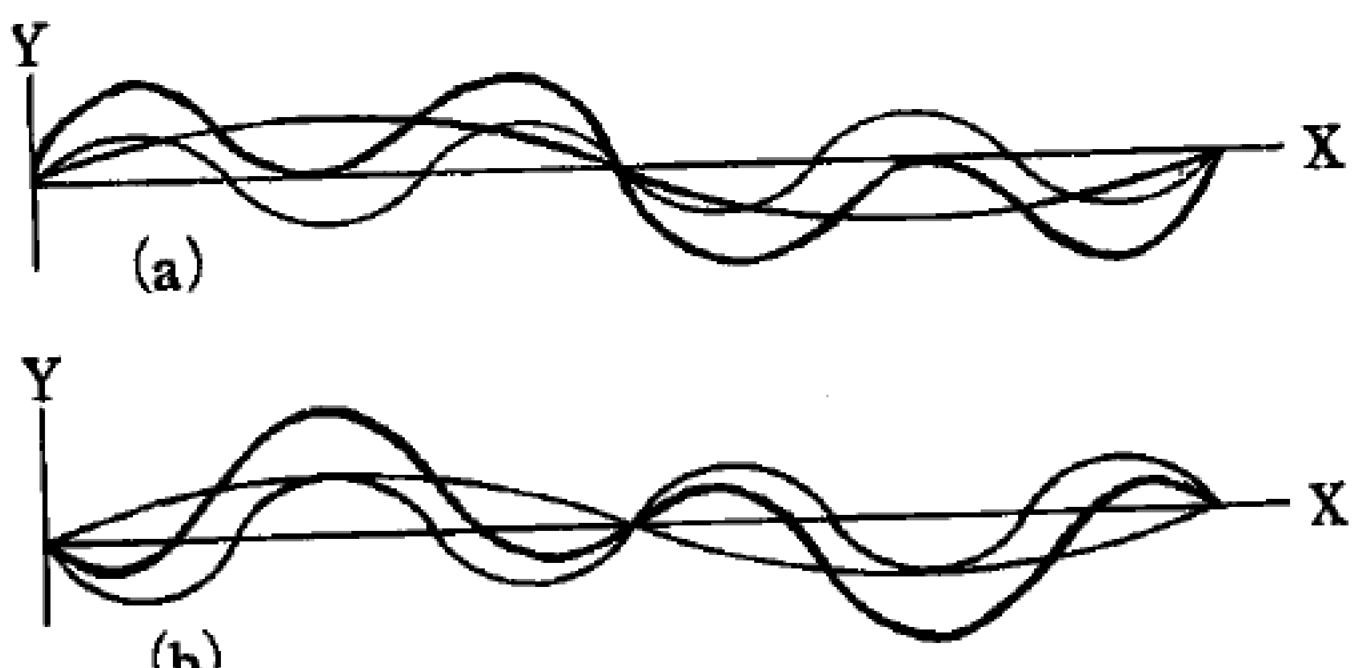


圖 14—61
頻率比為 3 : 1之二波(細線)相加得一合成波，合成波形(粗線)因成分波之相位關係而異。比較(a)與(b)。

在圖14—61中，將振幅相同而頻率比為3 : 1之兩波相加；相位關係則從a變至b，由圖可見相位關係之改變可產生形式極不相同之合成波。若其代表聲波，則吾人之耳膜將按各個情況之合成波的表示方式而振動，但將聽到並分辨此諸波為兩原始頻率，而不論其相位關係如何。若合成波代表可見光，則人

類之眼睛將接受與兩種顏色的混合相同之感覺，而不論其成分的相位關係。

在圖14—62中，頻率和振幅不同之三波相加，合成複波與一簡單之週期波大不相同，這與平常由樂器產生之波形相似。在圖14—63中，一極高頻率之波加上一極低頻率之波，在合成波中每一成分頻率清晰可辨。在圖14—64中，頻率近乎相等之二波相加，合成波由波群所組成，當爲聲音時，產生爲人所熟悉之拍的現象。

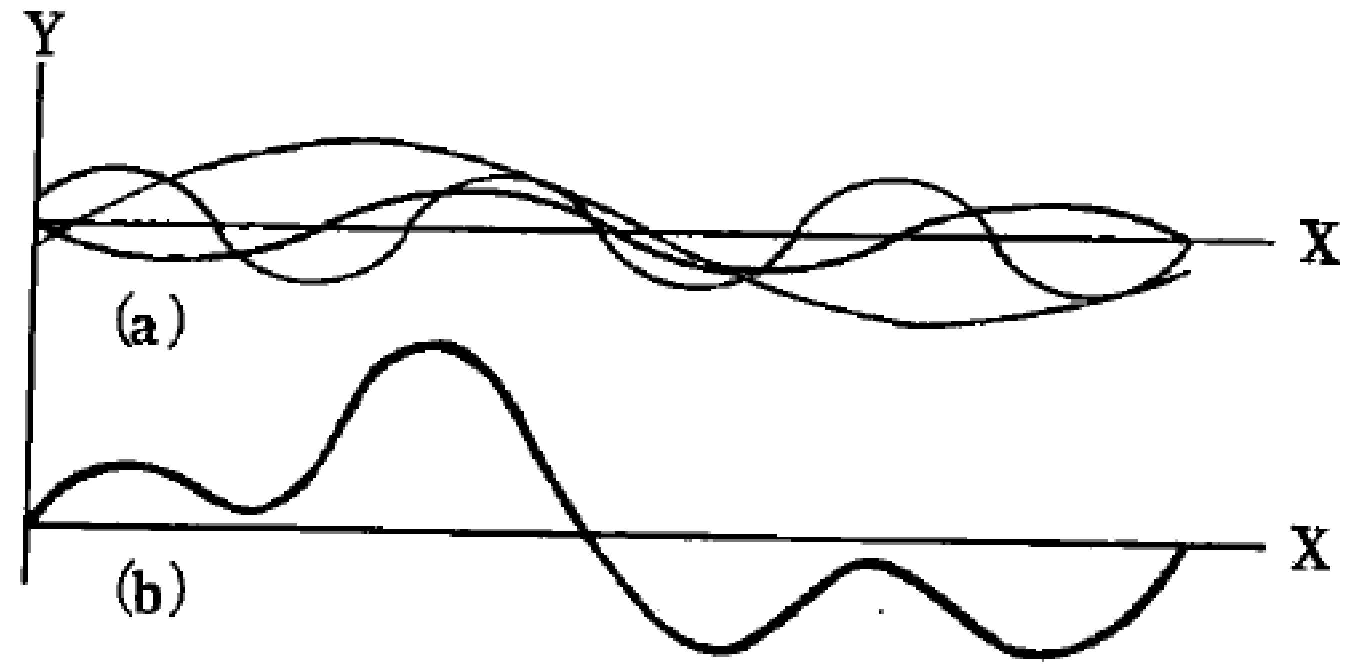


圖 14 — 62
(a)中不同頻率之三波相加得一如(b)之複波

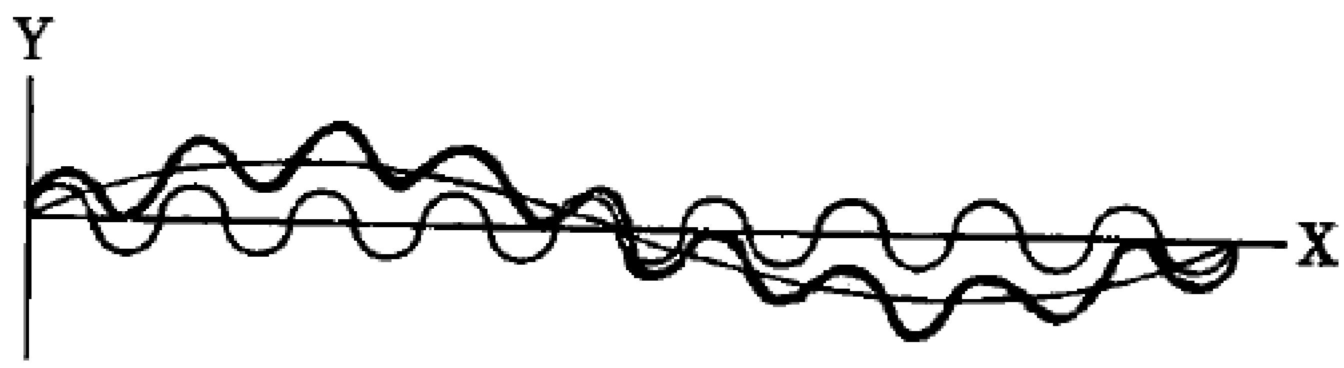


圖 14 — 63
頻率相差極大之二波（細線、粗線）相加

所有此等圖中，合成波是在重疊原理（*principle of superposition*）成立之假設下，由每點之個別波所生的位移相加而得。因所有成分波以同一速度進行，合成波形也以相同速度移動，而波形不變。

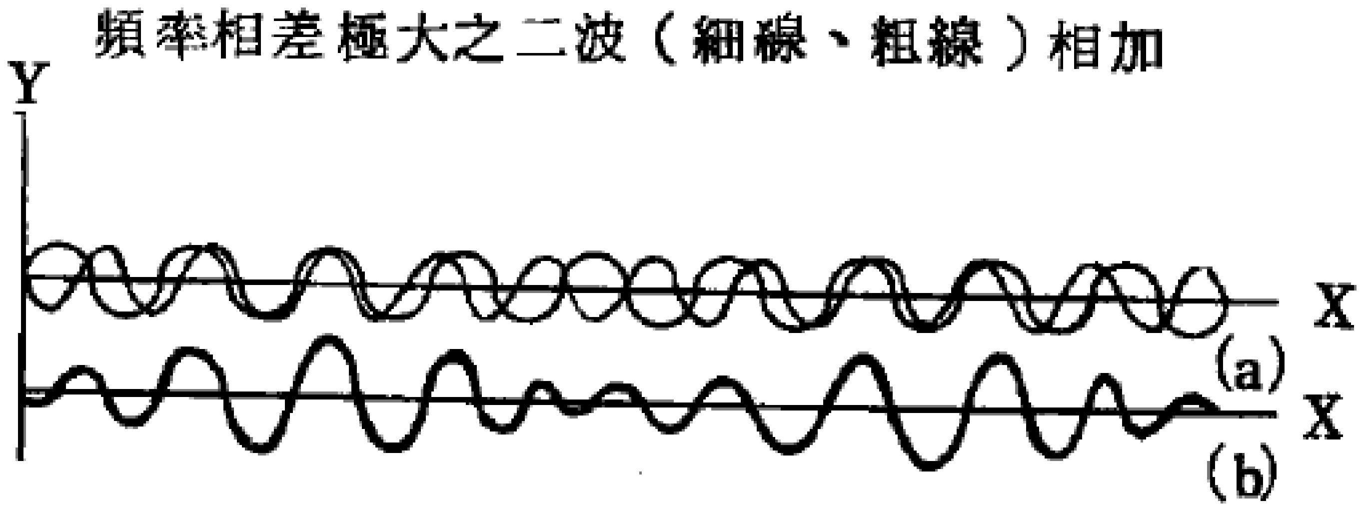


圖 14 — 64
頻率近乎相同之二波(a)(b)相加，表示拍的現象

陰極射線示波器提供觀察簡諧波如何能合成及分析複波之最簡方法。

【複阻抗】（Complex impedance）

在交流電路中常將電流I和電壓V以複數（如圖14—65）表示：

$$I = I_0 e^{i\omega t}$$

和

$$V = V_0 e^{i(\omega t + \phi)}$$

並取複數的實數部分為電流和電壓的瞬時值：

$$I = I_0 cos\omega t$$

$$V = V_0 \, cos \, (\omega t + \phi)$$

ω為角頻率，即2π乘以交流電的頻率。V和I可以實數對虛數坐標上的兩向量表示。I 和 V 的長度 I_0 和 V_0 均為常數，ϕ 為電壓領先電流的相角，也是常數。二向量保持定角ϕ以角頻率ω轉動。可將V與I的關係寫成

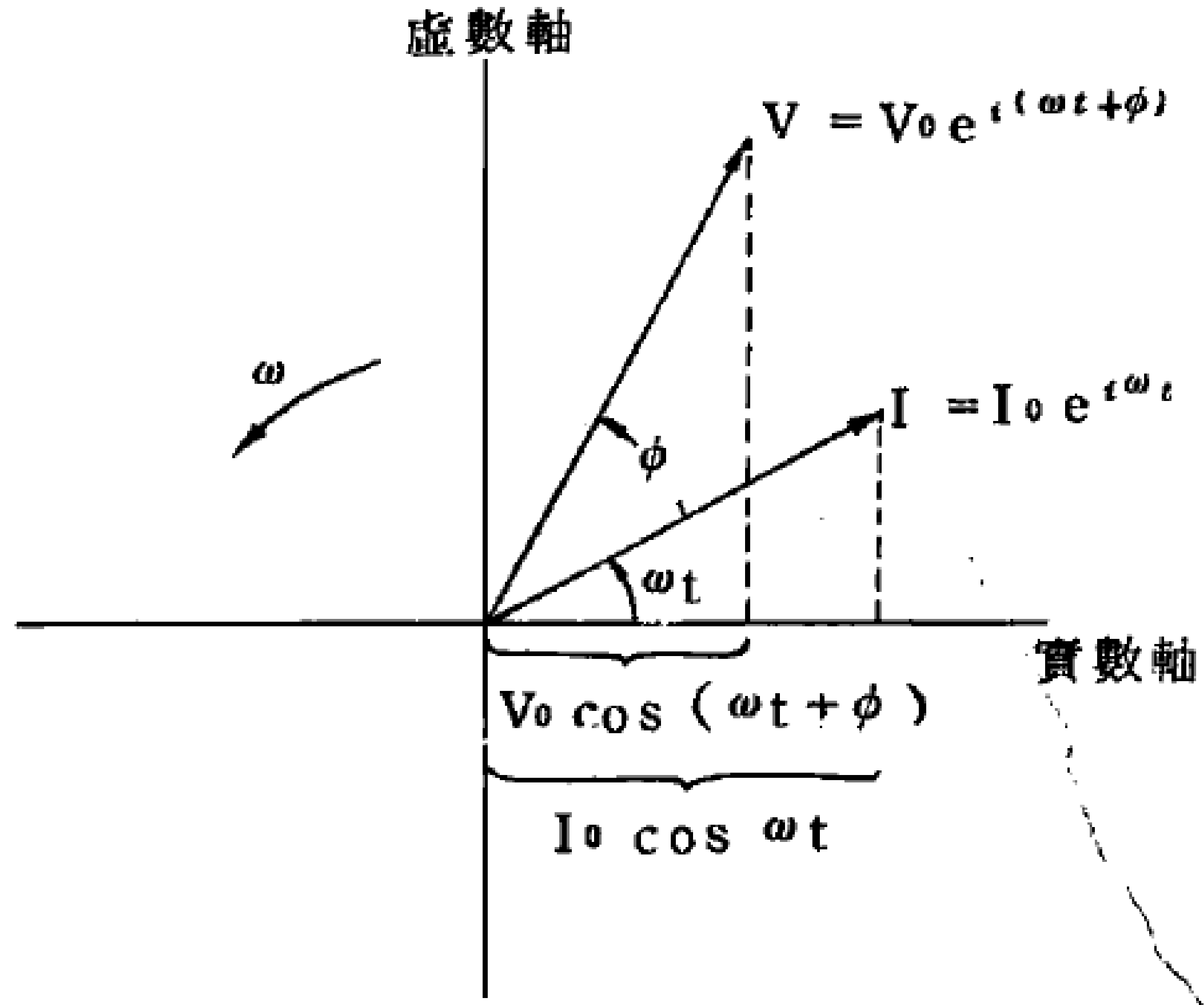


圖 14 — 65

$$V = Z I = (R + iX) I$$

Z即為複阻抗，$i = \sqrt{-1}$。Z的絕對值是$(R^2 + X^2)^{1/2}$；對於純電阻R，$Z_R = R$；$\phi_R = 0$。至於純電感L，$Z_L = i\omega L$；$\phi_L = 90°$。對於純電容C，$Z_C = -i/\omega C$；$\phi_C = -90°$。利用複數形式表示某段電路的阻抗，可得數學上的便利。

【複音】(Compound tone)

通常，發音體振動時，並不是單純的振動，除基音之外，還混雜有若干弱的泛音。由基音和泛音合成的音稱為複音。所以，複音的波形構造很複雜，而有音品的差異。任何兩個發音體，可以調節相同的基音，但泛音的數目和強度卻永遠無法達成一致，所合成的複音也不相同。

【複核】(Compound nucleus)

當受激原子核之激發能增加時，其能階隨激發能之增加而更為接近，終至原子核能階之密度大至無法分出個別之能階層而達到一連續之狀態。這種情形與原子之電子能階的情形相同。當受激原子核於高能狀況下發射一質子或中子後，此原子核常還具有很高的能量使其能階仍處於

連續之狀態。

波爾曾提出一種機構（*mechanism*）以解釋這種帶有超過分離能階範圍的激發核反應，在此解釋核反應之機構中，根據他的液滴模型，一撞擊原子核之核粒子也爲此原子核所吸收。撞擊粒子之動能及粒子因吸收所釋放之束縛能均用以激發新的複核，使整個的複核處於均勻受激態。核粒子在原子核中作不定向的跳動，使核質點本身的動能因而增加或減少，此種情形與氣體或液體中之分子相同。由第一次吸收作用起，一核粒子獲得大於束縛能之動能的機會率隨時間之增長而增加，當一核粒子之動能於超過束縛能後，即發生蒸發作用（即離開原子核），與分子自液體表面蒸發之情形相同（圖 14－66）。

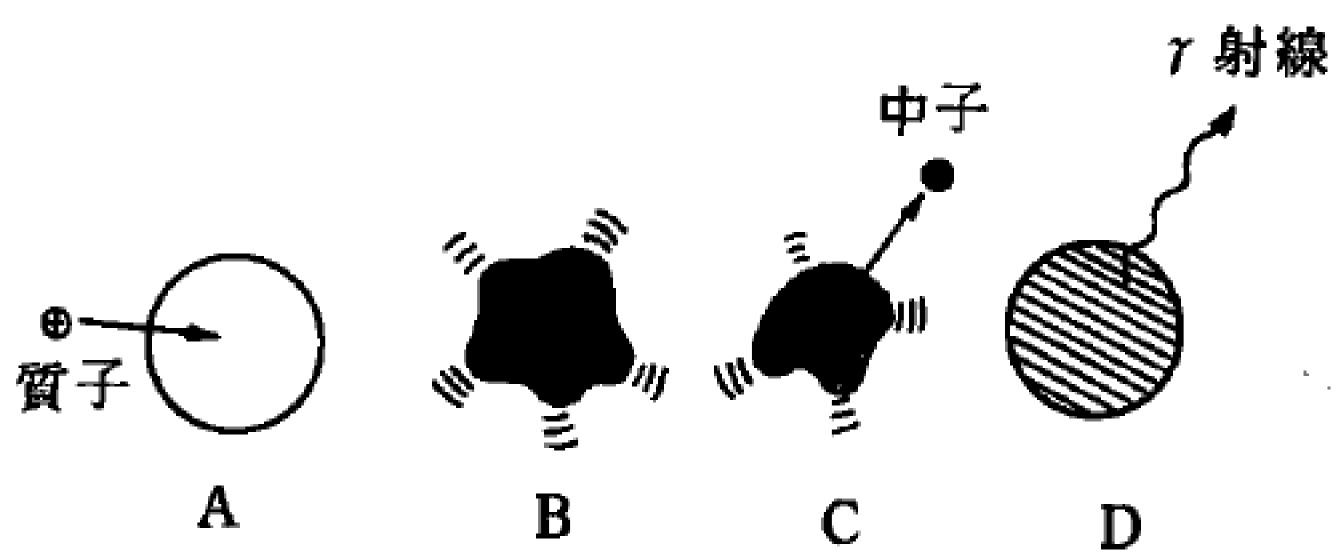


圖 14－66

A原子核於因一質子射入後產生受激複核B；及因蒸發一中子C或放出γ射線D發生去激作用（de-excitation）的簡略圖示。

因核粒子之蒸發使原子核所減少之激發能與束縛能及釋放之核粒子動能之和相當。此種蒸發過程繼續進行，直至剩餘之激發能低於核粒子之束縛能爲止。剩餘之激發能以 γ 射線形式自原子核中射出。

設受 20*MeV* 激發能之 ^{188}Os 複核，若其平均束縛能爲6*MeV*，每一移出之中子帶有 3*MeV* 能量，每蒸發一中子，原子核之激發能減少 9*MeV*，因此蒸發兩個中子後，^{188}Os 原子核之激發能僅有2*MeV*，此激發能較一中子之束縛能爲低，無法再使中子蒸發，於是最後的 2*MeV* 能量以 γ 射線的形式射出。若 ^{188}Os複核係 α 粒子轟擊 ^{184}W所形成，此反應式爲

$$^{184}W(\alpha, 2n)\,^{186}Os$$

【複眼】（Compound eyes）

昆蟲的複眼在無脊椎動物中算是高度進化的眼睛，大多數的昆蟲都有

複眼，另外還有各種額外的單眼。一般研究這類昆蟲的視覺時，蜜蜂視覺的性質是比較容易的，因爲它們會受到蜜糖的吸引。

蜜蜂的眼睛是一對複眼，它是由許許多多稱爲小眼（*ommatidium*）的細胞所構成，這些圓錐狀細胞緊密地排列在蜜蜂頭部外緣的圓面（約略而言）上。圖14—67是一個小眼的圖片，其上端有一塊透明區域，像是一種“晶狀體”，但是實際上它卻更像一個濾光鏡或光管，使光線能沿著這細長的纖維而下，這細長的纖維就是我們假定吸收作用發生之處；從另一端伸出來的是神經纖維，中央纖維被六個細胞所包圍，事實上中央纖維是鎖藏於其中。

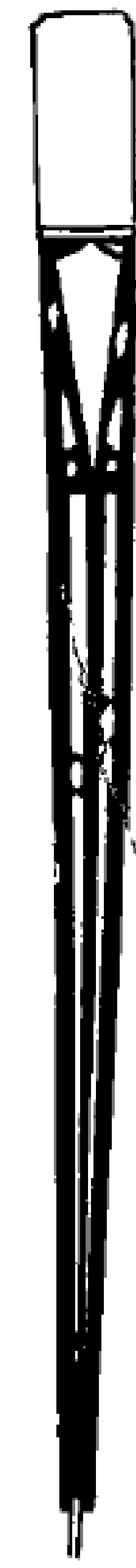


圖 14 — 67 小眼的結構（複眼中的一個單細胞）

【複傳語言程式】（Fortran language equation）

複傳（*fortran*）一字取自公式翻譯(*formula translation*）兩字的前面字母併合而成，顧名思義，它的目的，在於將數學公式翻譯成機器語言，使用複傳語言來寫作程式時，極爲簡單，只須將程式內含用原來數學公式來表示即可，固然，它尚須遵從許多既定的細節，其最大優點是便於記憶、學習快、程式寫起來很短，故現在一般科學計算，用該程式的計算能力者頗多。

寫複傳程式的方法，是首先應用程式語言，逐一將每一陳條（*statements*)寫出，再輸入電腦中，使其發生動作，開始工作，寫作陳條時，就如演算數學一樣，變化多端，規則無窮，蓋“運用之妙，存乎一心”。寫複傳程式所用的紙有一定的格式，稱爲複傳碼格式紙(*FORTRAN coding form*），紙上有八十行（*column*）及二十五列（*row*），每一列即代表一張卡片，每張標準的卡片有八十欄。

【複像】（Multiple image）

實物在兩平面鏡間可引起多次反射而形成複像，其在每鏡中除由原物各成一像外，餘皆互以他鏡之像爲物而形成。

【複發電機】(Compound wound dynamo)

串並繞並用之發電機（如圖14—68）。串繞部分爲粗線、匝數少；並繞部分則反是。由此種連接，因激發所生之磁場強度，與通過兩部分線圈中電流之總和成正比；而其電流總和恆有一定，故由此繞法可得穩定的電動勢。

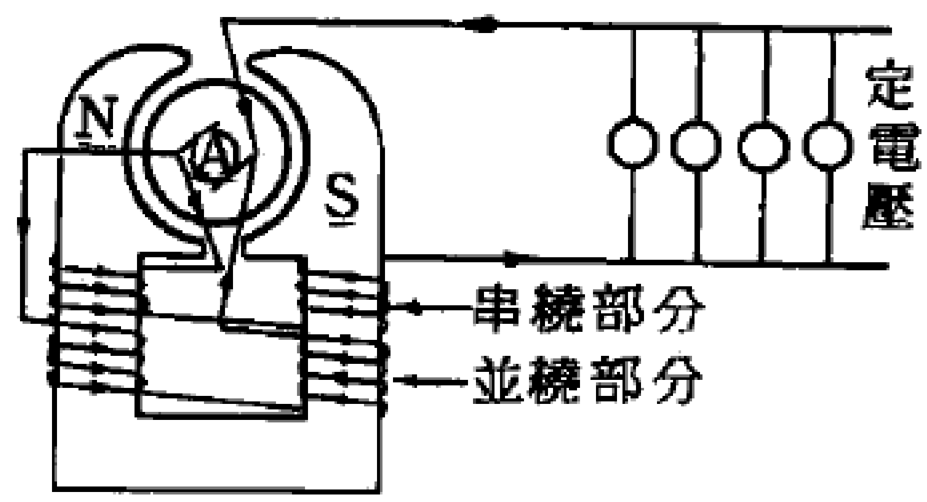


圖14—68

【複激電動機】(Compound motor)

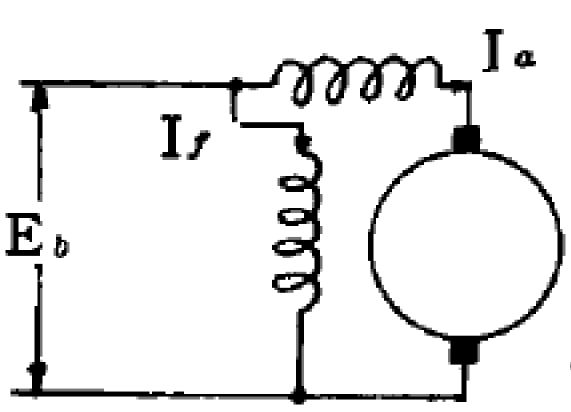


圖14—69

此種電動機爲並激與串激兩種電動機之折衷，圖14—69示其與配電幹線之聯接法。外施電壓 E 一定，則並激電流 I 亦一定，惟串激線圈之電流則隨負載而增加，故每極之磁通亦隨負載而增加，但不若串激電動機之迅速。

圖14—70示一複激電動機，一串激電動機及一並激電動機之速度與轉矩特性曲線，爲便於比較起見，三者之滿載轉矩以及滿載速度均設其相同。複激電動機之無載速度仍爲一安全之最高值，縱在輕負載下亦不狂轉，此爲與串激電動機之不同處。在複激電動機之電樞電路中如加一電阻，可使

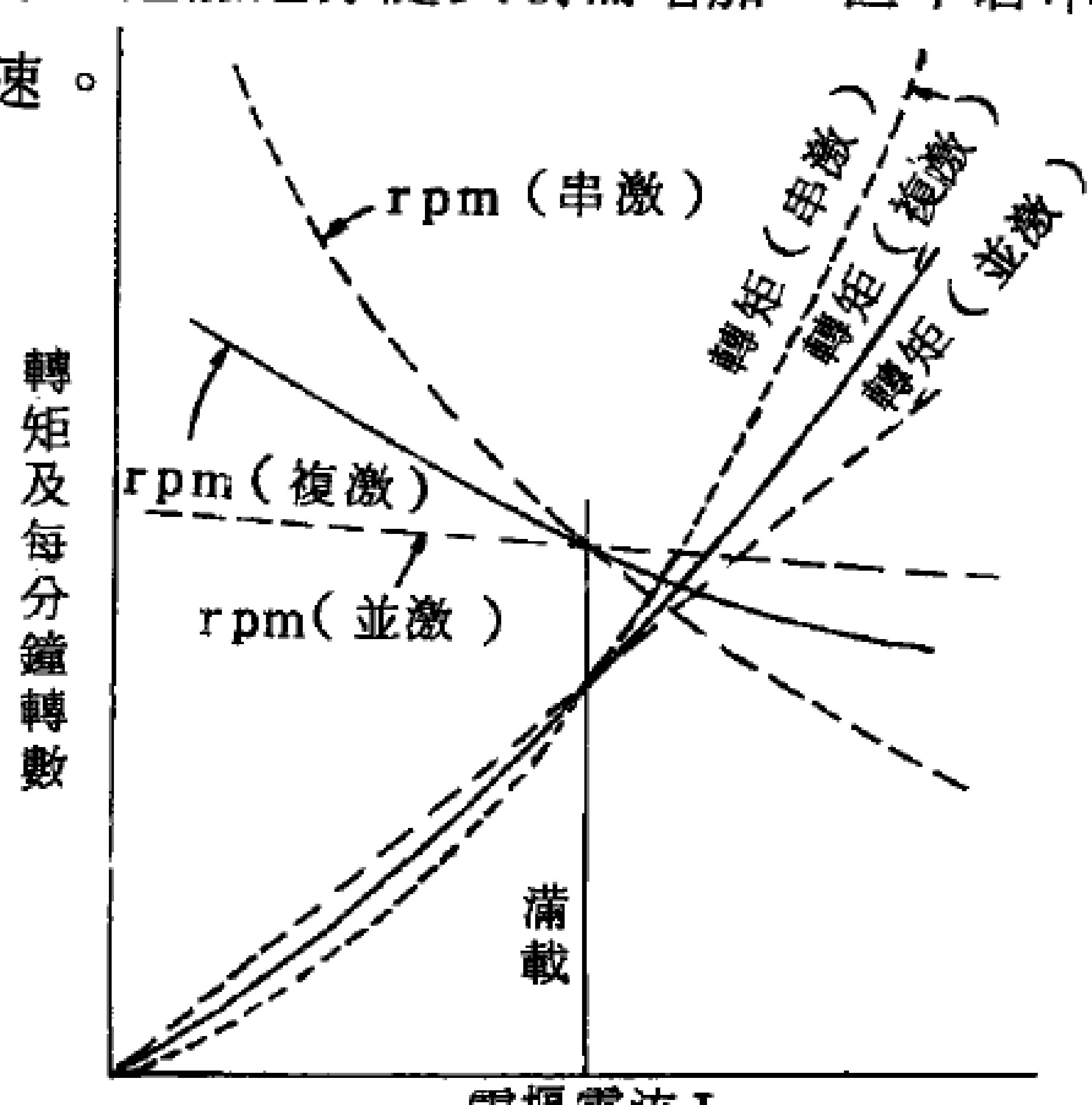


圖14—70　複激電動機之特性曲線

其速度低於正常值，如在其磁場電路中加一電阻，可使其速度高於正常值。

複激電動機適於拖動碎石機一類之機器，因其較並激電動機之開動電流小而開動轉矩大，雖石塊充滿機器之中亦得開動，且能於負載增加時速度自動降低，故可裝一飛輪於其軸上，以擔當峯頂負載。複激電動機亦適用於升降機及一部分電車上，凡需要串激電動機之特性，而又須得安全之高速度，無不應用複激電動機。一馬力以下之電動機，直接以開閉器接於線路以開動，通常均有少許複激，以便迅速起步。

大型並激電動機在高速度運轉時，由於線路電壓之變動，電樞電流常遭受過大之變動，尤以其拖動之負載具有較大轉動慣量時爲甚。線路電壓之突然降低易使電樞電流減低爲零，甚至作暫時之反向，線路電壓突升時電樞電流亦遭受同樣之劇烈波動。設用一少量之串激磁場，可將此種波動充分降低。故並激電動機爲穩定其所需功率起見，常附以幾許複激，此則常被視爲穩定並激電動機。

【複擺】(Compound pendulum ; Physical pendulum)

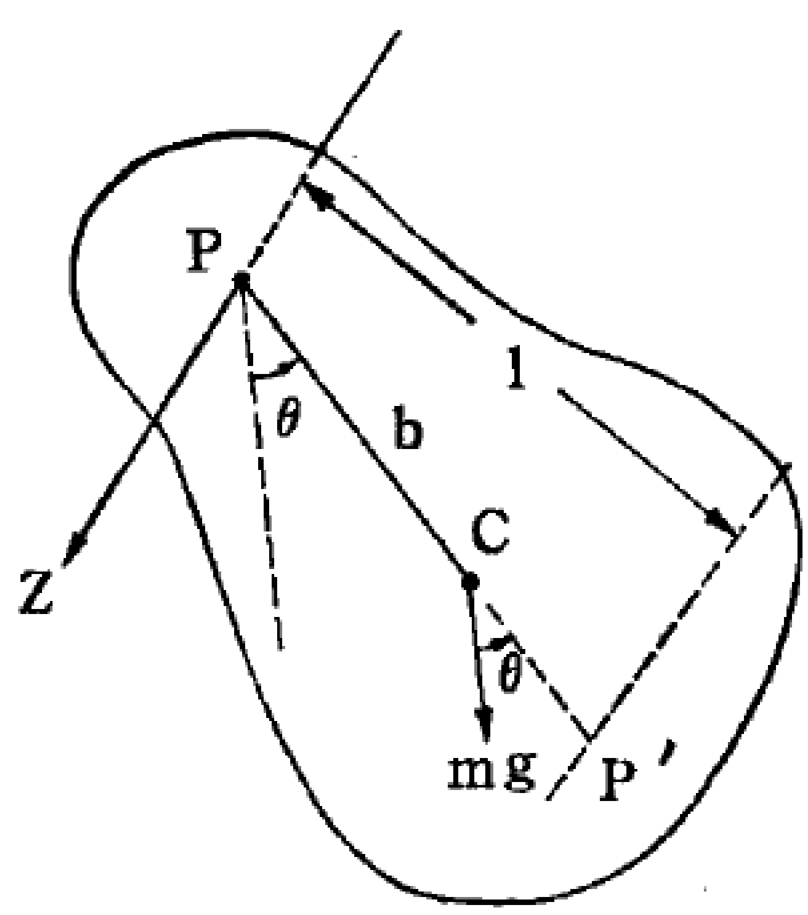


圖 14 — 71　複擺

任何能在鉛直面上，因重力的作用而自由擺動的剛體，都叫做複擺(*compound pendulum*)或物理擺(*physical pendulum*)。嚴格的說，所有眞實的擺(扭擺除外)都屬於複擺，單擺其實只是一種理想而已，圖 14 — 71 的剛體，可以繞通過 P 點的水平軸 Z 自由轉動。P 和質心 C 的距離等於 b。當 PC 和鉛直線的夾角爲 θ 時，剛體所受的 Z 方向轉矩等於

$$\tau_z = -mgb\sin\theta$$

定振幅很小，小角度的近似關係 $\sin\theta \approx \theta$ 成立，則

$$\tau_z = -mgb\,\theta$$

因此，依轉動方程式 $\tau_z = I\ddot{\theta}$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgb}{I}\theta = 0$$

其中，I 代表剛體對 Z 軸的慣性矩。或用廻轉半徑 K 表示

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{gb}{K^2}\theta = 0$$

和簡諧運動比較，我們馬上可以得到複擺的週期

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgb}} = 2\pi\sqrt{\frac{K^2}{gb}}$$

因此，在小振幅的限度內，一複擺的週期，只決定於它的廻轉半徑及質心到轉軸的距離，和剛體的質量及形狀無關。又

$$l = \frac{K^2}{b}$$

稱爲當量單擺的擺長，謂擺長等於 $\frac{K^2}{b}$ 的單擺，和這個複擺有相同的週期。

【複雜光譜】(Complex spectra)

有別於簡單光譜；在氫原子光譜及鹼金屬光譜中，譜線往往排成系列而光譜線的頻率遵守芮得柏公式(*Rydberg equation*)，因此實驗之鑑定及理論之解釋均易，故稱爲簡單光譜。

但原子系統中若有兩個或兩個以上之價電子時，其光譜的系列結構即不明顯，乃因價電子間的拒斥作用甚強，實驗及理論之解析均極困難，原子狀態十分複雜，故其光譜稱爲複雜光譜。

複雜光譜中最特殊的現象爲許多譜線聚集一區而有其特定的譜線間隔及強度分佈，稱爲多重態(*multiplets*)，或稱爲項(*terms*)。項或多重態的分析研究爲複雜光譜的重要問題。

【複雜接頭】(Heterojunction)

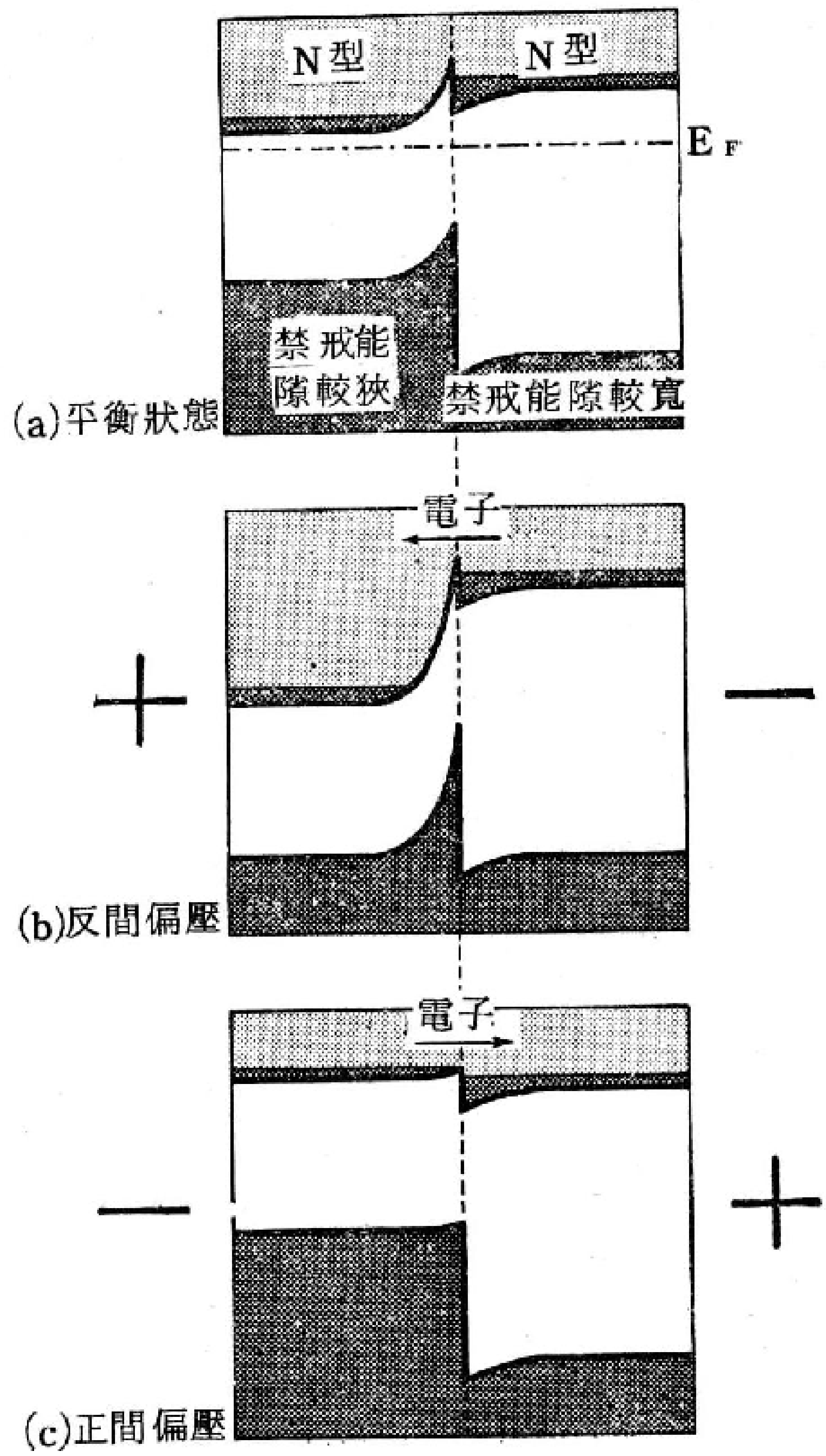


圖 14—72
N型複合接頭在平衡狀況，反向偏壓及正向偏壓時的能帶模型。

若沿著晶體改變其化學成分，能製出禁戒能隙逐漸變異的金屬互化物半導體，那是非均勻晶體。若使從一種互化物到另一種互化物間的電鍵位於極短距離內，則形成複雜接頭，其電位降落的狀況，與*P*-*N*接頭的情形甚為相似。考慮*N*型複雜接頭，接頭一端能隙較狹的物質，與另一端能隙較寬的物質，全為*N*型晶體，電子擴散通過交界，直到費米能階(*Fermi-level*)成為直線為止。這時電位升高而形成尖針狀(見圖14—72(*a*))此時即使接頭兩端的物質全為*N*型，仍然有電位差存在。所以會發生這種情形，乃是因為接頭兩邊物質的禁戒能隙不同的緣故。

當複雜接頭受反向偏壓時(如圖14—72(*b*))，僅有少量電子具有足夠的能量克服能壘尖(*energy spike*)，而從能隙較寬的物質移動到能隙較狹窄的物質中。當受正向偏壓時(如圖14—72(*c*))，則會有較多的電子從能隙較狹的一端通過較低的能壘(*energy barrier*)，移動到能隙較寬的一端，因此它具有整流作用。同時因為正向電流與反

向電流之比，由勢壘尖（*potential spike*）的狀況而定，而它的勢壘尖比P-N接頭的電位升高小得多，因此效率較差。複雜接頭的電流，全由通過接頭的電子來攜帶，而非注入，因此它與P-N接頭不同。同時這也正表示電子在通過接頭後不發生復合躍遷，因此在高速操作時用途極廣，電子計算機即爲一明證。P-N接頭會發生復合躍遷，在高頻率狀況下，復合時間對高頻率操作而言甚大，因此它的作用就大爲降低，但複雜接頭則不受這種限制。

【複顯微鏡】（Compound microscope）

圖14—73由焦距甚小的二收斂透鏡所組成，此二透鏡分別稱爲目鏡與物鏡，物鏡之焦距f較目鏡之焦距f'爲小，

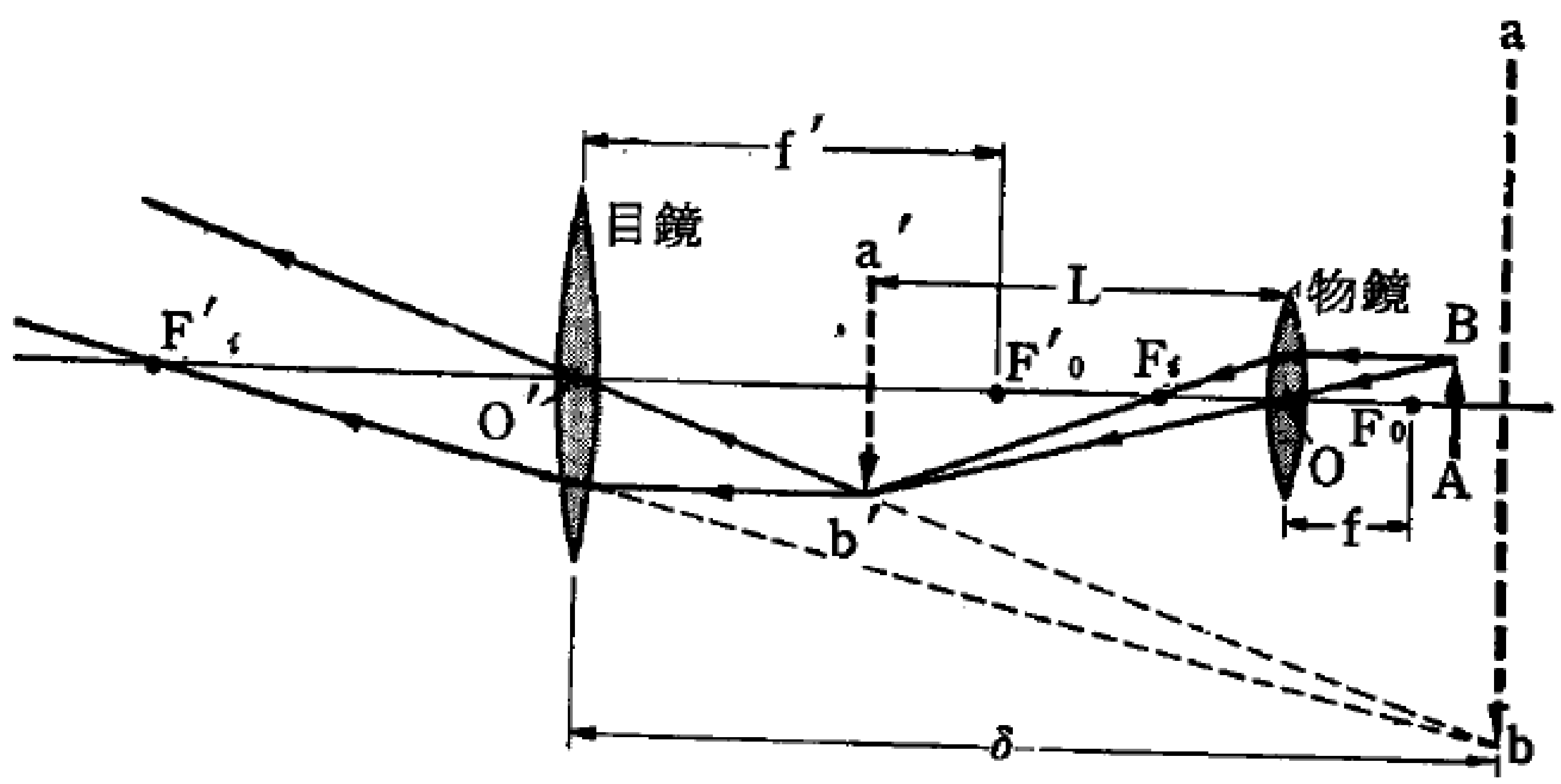


圖 14 — 73　複顯微鏡中之射線追蹤

而f與f'二者均較目鏡與物鏡間距離爲小。物AB置於距目鏡較f略大之處。物鏡構成第一實像$a'b'$，當作目鏡之物，像$a'b'$距目鏡距離略小於f'，最終之像ab爲倒立虛像，且較物爲大。物AB之放置，應恰使ab與目鏡之距離等於明視距離δ（約25cm），經由一稱爲對焦距（*focusing*）之操作，可以獲得上述條件，此操作包含移動整個顯微鏡對物之距離，物鏡所生之放大率爲

$$M_0 = \frac{a'b'}{AB} \approx \frac{L}{f}$$

而目鏡之放大率爲

$$M_E = \frac{a\ b}{a'b'} \approx \frac{\delta}{f}$$

因此總放大率

$$M = M_O M_E = \frac{a\,b}{AB} = \frac{\delta L}{ff'}$$

在實際顯微鏡中，L 幾乎等於物鏡與目鏡間之距離，因 L 與 δ 既定，放大率只與物鏡與目鏡之焦距有關。

顯微鏡中有效放大率係由鑑別率（*resolving power*）所限制，所謂鑑別率，乃是物中兩點間最短距離，而此兩點能在像中淸晰可見，此鑑別率轉由目鏡上之繞射所決定。經詳細計算，鑑別率爲

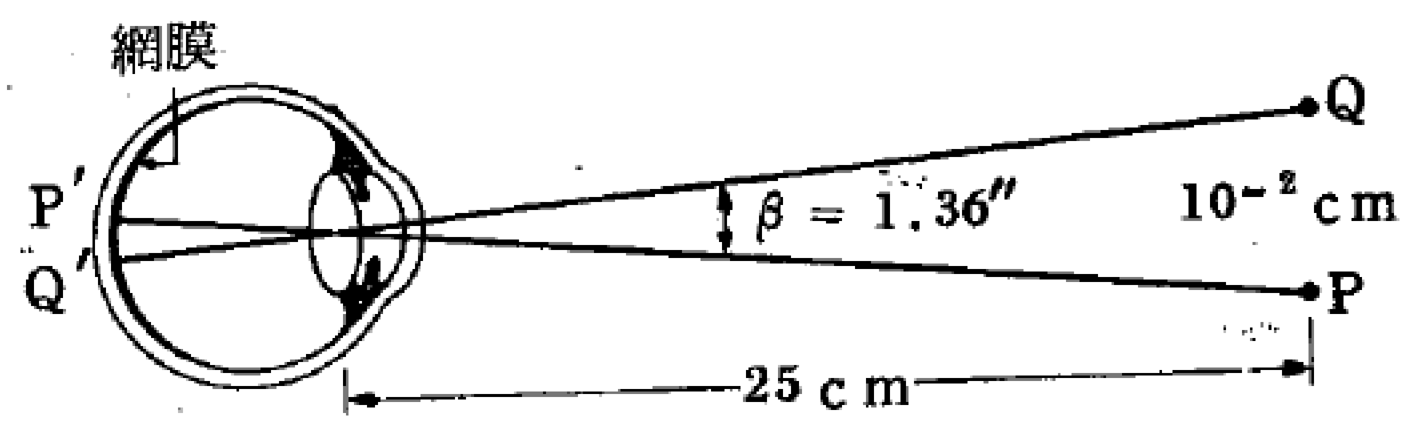


圖 14 — 74　眼睛的鑑別率

$$R = \frac{\lambda}{2n\sin\theta}$$

式中 λ 爲所用之波長，n 爲物所沒入之介質的折射率，θ 爲邊緣射線與顯微鏡軸間夾角，一般 $2n\sin\theta$ 之值約爲三，因此 $R \approx \frac{1}{3}\lambda$。另一方面，對於明視距離上一物，人類眼睛鑑別率約爲 $10^{-2}\,cm$（圖 14 — 74），所以顯微鏡最大有效放大率爲

$$M = \frac{10^{-2}\,cm}{\frac{1}{3}\lambda} \approx \frac{3 \times 10^{-2}\,cm}{\lambda}$$

譬如，對於可見光譜之中心部分，波長 $\lambda = 5 \times 10^{-7}\,cm$ 之光，M 約爲 600。

【語音放大器】（Speech amplifier）

如公共場所之擴音機，或無線電話發射機的聲頻放大部分。

【誤差】(Error)

在物理量度和實驗中，難免會出現誤差。其種類大致如下：

1. 錯誤或不愼——例如讀錯量尺的單位，或在不適當的時間取讀數，或取讀數時疏忽應有的操作步驟。這種誤差太大時，在重行量度卽易發現；但差誤甚小，則很難與其他誤差區別。由於震動或超載，熱擾動或其他原因使儀器突生改變而生的誤差亦屬此類。

2. 固定誤差（ *constant errors* ）——例如量尺部分的刻度不準，用此尺的不準部分量長度時卽有固定誤差。不論量度重複若干次，每次所生誤差之量均相同（不計其他誤差），而且多次觀察的平均值其誤差仍相同。減少固定誤差的方法是用此尺的不同部分，或另用量尺。

3. 個人誤差（ *personal errors* ）——由每個人因反應或習慣不同而生的誤差，例如停錶較遲，取讀數經常較大或較小。若由不同的觀察者所得觀察結果與之比較，卽可估計個人誤差的大小。

4. 系統誤差（ *systematic errors* ）——由於儀器校準或標度不準所產生的誤差，其他如某種環境因素所引起，例如在量度期間溫度或壓力往單方向的變化。系統誤差與待測的量有關，或是此量的某種函數。在連續間隔依次量度時，系統誤差是累積性的。通常在量度時應考慮所有上述因素的可能影響，並決定對這些因素的容許度；這可由計算理論上的修正值而得，例如由實驗可測知材料的熱膨脹係數，卽可計算量尺的膨脹。

5. 補償誤差（ *compensating errors* ）——在某對量度中，不宜容許有某種系統誤差；但將實驗步驟適當改變，卽可補救。例如量度一懸吊磁鐵受另一在垂直方向的磁鐵作用所生的偏向時，向磁鐵的磁軸眞正位置對其外表的關係並不確知。但可將作用之磁鐵輪流置於懸吊磁鐵的東西兩側之相同距離處，並將此磁鐵的北極在該處指向東又再向西，如此變換量度，則誤差大爲減少。

6.無規誤差（*random errors*）——由於儀器性能的限制，環境中無法控制的變化，來自天然或人爲源頭的干擾，或如布朗運動（*Brownian movement*）之類對準確度的基本限制，在任何量度中都會出現少量這類誤差。一般言之，對各種量度無法修正這種誤差，但無規誤差不致產生累積誤差；而且重複觀察次數，取讀數的平均值，即可改進結果的準確度。

在量度實驗中，若共取讀數N次，每次讀數爲X_n（$n=1, 2, \cdots, N$），則此物理量的最可幾值（*most probable value*）爲讀數的平均值，即

$$\bar{x}=\frac{\sum_{n=1}^{N} x_n}{N}$$

一種估計誤差的方法是方均根偏差（*root-mean square deviation*）。或稱標準偏差，定義爲

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N}(x_n-\bar{x})^2}{N}}$$

有時用另一種誤差值，稱爲平均偏差（*average deviation*），定義爲

$$a.d.=\frac{\sum_{n=1}^{N}|x_n-\bar{x}|}{N}$$

還有可幾誤差（*probable error*），定義爲對平均值有一偏差（*pe*），使所有對平均值的偏差，一半大於*pe*，一半小於*pe*。若誤差的分佈爲正常的高斯分佈（*Gauss distribution*），則可幾誤差以積分方程式

$$erf(pe)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{pe} e^{-y^2}\,dy=\frac{1}{2}$$

定義之。可幾誤差與標準偏差及平均偏差的關係爲

$$pe=0.674\,\sigma=0.846\,a.d.$$

【誤差函數】（Error function）

誤差函數有兩種定義，即

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du$$

$$Erf(x) = \int_0^x e^{-u^2} du$$

另有相關的函數定義為

$$Erfc(x) = \int_x^\infty e^{-u^2} du$$

誤差函數 $erf(x)$ 的值已有人將其作成表格，以供查閱。

【誘發放射性】(Induced radioactivity)

誘發放射性是指像由核爆炸或來自反應器的中子所產生的放射性；或指由加速器所加速的帶電粒子去撞擊物質所產生的放射性。

【誘發核分裂】(Induced fission)

利用中子撞擊原子核可導致原子核的分裂。隨著人工放射的發現，在 1934 年居里夫婦研究原子核反應，證明原子核在捕獲中子後，通常產生一有貝他衰變的不穩定原子核，因此費米 (*Fermi*) 及其他等人推測若以中子撞擊鈾核，可能形成原子序為93 的一種未知元素，其核反應如下：

$${}^{A}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{A+1}_{92}U \rightarrow {}^{A+1}_{93}X + \beta^-$$

當此實驗於 1934 年完成時，發現受撞擊後的生成物的確放射β^-粒子。自 1934 年至 1938 年間，皆認為像原子序為 96 的重元素是經過數次連續的負貝他衰變而形成。德國科學家哈恩 (*O. Hahn*) 與斯特拉斯曼 (*F. Strassmann*) 在 1938 年集中精力觀察原子核捕獲一高能量的中子以後，立即發射一 α 粒子的可能性，這種反應在鈾中可能為

$${}^{A}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{A-3}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

或在釷中為

$${}^{A}_{90}Th + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{A-3}_{88}Ra + {}^{4}_{2}He$$

經過極辛苦仔細的化學分析，哈恩及斯特拉斯曼相信放射 β 粒子後之產

物並非鐳（*Ra*）、錒（*Ac*）、釷（*Th*）或鏷（*Pa*），也非*Z*（原子序）> 93的元素，而是一些放射β^-粒子的放射性同位素鍶（*Sr*）、釔（*Y*）、銣（*Rb*）、鎄（*Cs*）、鋇（*Ba*）及鑭（*La*）。1939年，哈恩與斯特拉斯曼將此結果公諸於世，同時並提出鈾原子核若於捕獲中子後，分成兩個並不完全相等的部分，即可能形成上述之原子核。至此，原子核化學家及物理學家們立即知道他們以前的結論所犯的錯誤，以及此正確解釋的重要性。到1939年後期，波爾（*Bohr*）發表液滴解釋分裂的理論。第二年，俄國物理學家芙勒夫（*G.N.Flerov*）及柏滋海克（*K.A.Petrzhak*）發現鈾有自發分裂的現象，自1939年起，已發現多種彈丸撞擊原子核後，均可誘致分裂發生，彈丸包括γ射線、中子、質子、氘子、α射線以及碳（*C*）、氮（*N*）、氧（*O*）及氖（*Ne*）離子等。鑭（稀土金屬）等輕元素的原子核在受到高能量的撞擊後，也會有核分裂的現象。

【赫伯、胡馬生定律】（Hubble-Humason law）

關於天文遠近觀念上的改變，最有貢獻的首推美國加利福尼亞州威爾遜山天文臺的赫伯（*Eduin Hubble*）。赫伯在1924年間發表了幾張相片，一下子就斬截地證明了，原來天文學家過去稱爲星雲的東西，一向都以爲是初步形成的氣體與塵埃的集合體，而事實上卻是像銀河一般巨大的星辰系統。他專門致力於島宇宙的研究，量度它們的距離，描繪它們在空間的分佈情況，並且分析它們的運動。島宇宙的運動有一種奇異的特色，並不像氣體中的分子一樣漫無目標地漂流，而是井井有條地運動，具有高度的系統性：每一個島宇宙，不管它在空間中的位置如何；全部似乎在遠離我們的太陽系而去，其速度與其距離適成正比例；換句話說，距離愈大則速率愈高。赫伯和他的同僚胡馬生（*Milton L. Humason*）後來就繼續研究其比值，於1929年間發表了一個方程式，即赫伯-胡馬生定律，在宇宙學上具有至高無上的重要性。該定律爲：

$Vm = 38r$ 式中Vm代表島宇宙向後撤退的速度，以每秒若干哩計，r表示該島宇宙目前與地球間的距離，其單位爲一百萬光年。因此，如有一座島宇宙，離開地球一萬萬光年，那麼其運動速度即爲 38×100 即每秒鐘3,800哩；而離地球十萬萬光年的島宇宙，則其向外遁走的速度爲每秒38,000哩，約等於光速的五分之一。

宇宙就這樣在我們的四周向每一方向膨脹。不過，這一句話的意思並不是說，現代的天文學又回復到古來以人類爲中心的宇宙觀上去；這並不是說我們的地球位居於整個宇宙的中心，正好像地球並非在太陽系、銀河系或本宇宙群的中心一樣。如果我們把宇宙看作是一個氣球，其上被覆著許多非彈性的斑點，來代表各個島宇宙，那麼當這氣球膨脹時，每一斑點一定是漸漸與其他每一斑點相分離。我們可以把宇宙看作是一大團抽成稀薄的氣體，每一個單獨的島宇宙相當於一個單獨的分子。如果這一團氣體作均勻的膨脹，那麼在一定時間內，每一分子和其他每一分子的距離，全部同時加倍。因此，如果在我們看到遠離我們而去的那些島宇宙上，也有著具有感官的觀察者，那麼他們也可以看到我們在遠離他們而去，其速度則與距離成正比。

【赫伯定律】(**Hubble law**)

即紅向移現象。

參閱"紅向移動（*Red shift*）"條。

【赫伯常數】(**Hubble constant**)

在方程式 $d = vT$ 中T的倒數即爲赫伯常數。其中v是星雲倒退的速度，d是星雲的位置，T是宇宙的時間$T \doteqdot 8 \times 10^9$年。

【赫協爾望遠鏡】(**Herschelian telescope**)

反光遠鏡之一種，筒端之拋物面鏡係作斜置，使光線反射至筒之另一端而不在曲率中心處，觀測者可從遠鏡上端之目鏡觀察。

【赫茲】(**Heinrich Rudolph Hertz** 1857—1894；

Gustar Hertz 1887-)

(一)*Heinrich Rudolph Hertz* 亨利克·盧多夫·赫茲德國物理學家，生於漢堡，父爲律師及議員，有猶太血統。初習工程，後改物理學。入柏林大學隨赫爾姆霍茲（*H.Helmholtz*）研習物理，後爲其助手。馬克士威在1864年預測有電磁波，赫茲在1886至1888年之間，使用快速振盪的電火花產生極高頻率的電磁波，證明這種電波可使在遠處不與電器相聯的導線廻路產生相同的電振盪，又證實光波與電磁波相同。因此發現電磁波，證明馬克士威的電磁理論，敞開無線電、電視和雷達的發展途徑。自1889年起赫茲在波昂大學任物理學教授，1894年元旦因患毒血症病逝波昂，年僅三十七歲。

今人爲紀念赫茲在電磁波方面的成就，用其名爲頻率之單位。係每一單位時間內通過一點所有之波數。因爲在無線電工程中，常常要遇到很大的振盪頻率，所以實際上所應用的單位常常要大到1,000倍——仟赫，大到10^6倍——兆赫及大到10^9倍——仟兆赫。

(二)*Gustar Hertz*革斯達·赫茲爲亨利克·盧多夫·赫茲之姪，1887年七月二十二日生於漢堡，在哥丁根、慕尼黑和柏林等大學受教育。第一次大戰時被徵入伍受重傷，戰後赴荷蘭飛利浦電氣公司實驗室研究，1928年主持柏林工業大學物理研究所，1935年任柏林西門子公司研究實驗室主持人。與佛蘭克（*J. Franck*）合作，用電子撞擊原子，證實波爾（*Bohr*）的原子理論，兩人同獲1925年諾貝爾物理學獎。不滿納粹德國反猶政策，1945年俄軍攻入柏林的時候失踪，後獲悉在俄國繼續工作。

【赫茲式天線】（Hertz antenna）

不連地之天線。

【赫茲波】（Hertzian wave）

赫茲由實驗而知電磁波之性質與光波同，亦呈直進、反射、折射、

干涉、繞射、偏振諸現象，故電磁波亦謂之赫茲波。

詳閱“無線電波（*Radio wave*）”條。

【赫茲振盪器】（Hertzian oscillator）

赫茲振盪器如圖14—75中左端所示，變壓器T充電於金屬板C與C'上，這些金屬板經由空隙P而放電，空隙成爲偶極振盪器（*dipole oscillator*），電磁波沿PX線傳播，電場係平行於Y軸，磁場則沿著Z軸，欲觀察電磁波，赫茲利用一短導線，曲成圓形，並留一小空隙；此項設計稱爲共振器（*resonator*）。用在這類實驗上的共振器直徑必須較波長爲小，若置放一共振器，使其面與波之磁場垂直，變更的磁場在共振器中感應一電動勢，結果在共振器空隙間產生火花。在另一方面，若共振器之面平行於磁場，則不能感應電動勢，因此在空隙中無火花。

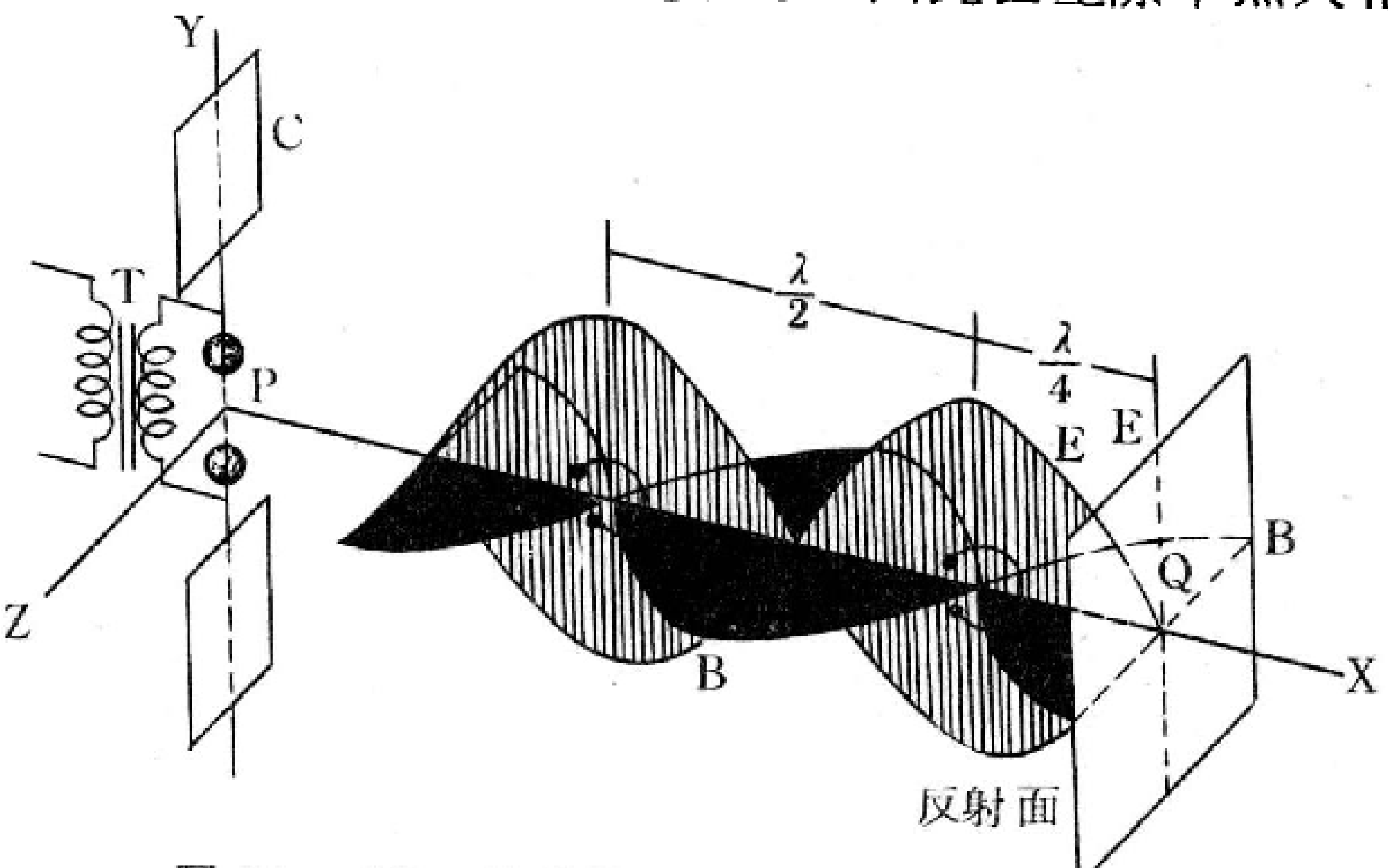


圖 14 — 75　赫茲的電磁波干涉實驗

欲產生電磁駐波，赫茲置一反射面（由良導體製成）於Q，在這樣的一情況下，當共振器位於磁場之節點上時，無論其方向如何，它將指出無感應電動勢（或火花）。然而在磁場的反節點上，當共振器垂直磁場時火花最大。藉著沿直線PQ移動共振器，赫茲發現節點與反節點之位置及磁場方向。藉著量度兩相鄰節點間距離，赫茲能計算波長λ，因已知振盪器之頻率，利用方程式$c = \lambda\nu$，能計算電磁波之速度，由此方法，赫茲爲電磁波傳播速度求得第一個實驗值。

【赫茲實驗】（Hertz's experiment）

赫茲（*Heinrich Rudolph Hertz*）在柏林大學隨赫爾姆霍茲（*Helmholtz*）學物理時，受赫爾姆霍茲之鼓勵研究馬克士威電磁理論，當時德國物理界深信韋伯（*Weber*）的電力與磁力可瞬時傳送的理論。因此赫茲就決定以實驗來證實韋伯與馬克士威的理論何者正確。

依照馬克士威理論，電擾動能輻射電磁波。赫茲根據電容器經由電花隙會產生振盪的原理，設計了一組電波產生器，見圖 14－76。

赫茲將一感應線圈的兩端接於產生器二銅棒上。當感應線圈的電流突然中斷時，其感應高電壓使電花隙間產生火花。瞬間後，電荷便經由電花隙在鋅板間振盪，頻率高達每秒數百萬週。由馬克士威理論，此火花應產生電磁波，於是赫茲設計了一簡單的檢波器來探測此電磁波。他將一小段導線彎成圓形，線末二端點間留有小電花隙。因電磁波應在此小線圈上生感應電壓，而使電花隙產生火花。所以他坐在一暗室內，檢波器距振盪器十米遠，結果他觀察到檢波器的電花隙間確有小火花產生。赫茲在暗室遠端的壁上覆有可反射電波的鋅板，入射波與反射波重疊應產生駐波（*standing wave*），他也以檢波器在距振盪器不同距離處偵測加以證實。赫茲先求出振盪器的頻率，又以檢波器量得駐波的波長，二者乘積即電波的傳播速度。正如馬克士威所預測的一樣，電磁波傳播速度等於光速。1888年，赫茲的實驗成功了，而馬克士威理論也因此獲得了無上光彩的勝利。

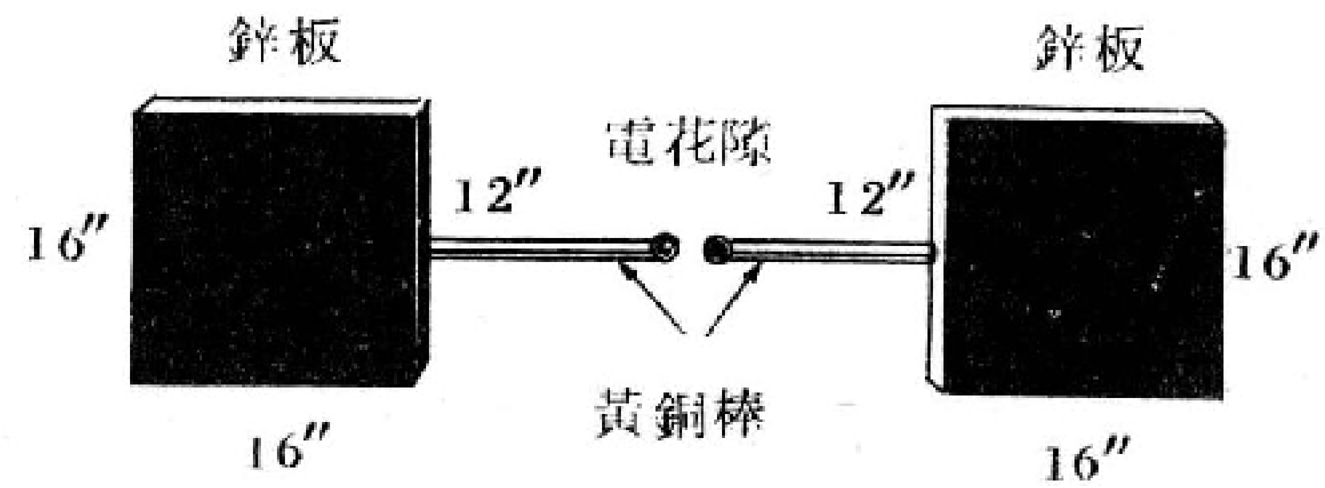


圖 14－76

赫茲在實驗時曾指出，電磁波可以被反射、折射和如同可見光、熱波一樣的被偏振。由他的振盪器所發出的電波是平面偏振波，其電場平行於振盪器的導線，磁場垂直於電場，而且兩者均垂直傳播方向。1889年在一次著名的演說中，赫茲明確的指證，光是一種電磁現象。不幸，

1894 年年僅三十七歲的赫茲去世了，爲了紀念他，後人常稱電磁波爲赫茲波。

第一次以電波傳遞訊息是 1896 年義大利的馬可尼（*Marconi*）開始的。1901 年，馬可尼又成功的將訊號送到了大西洋彼岸的美國。廿世紀無線電通訊更有了異常驚人的發展。此實驗不僅證實馬克士威的電磁理論，更爲無線電、電視和雷達的發展做開了發展的途徑。

【赫斯】（**Victor Franz Hers** 1883 — 1965）

1883 年六月廿四日生於奧國沙洛斯瓦德士田(*Schloss Waldsteim*)，是一位原籍奧國後歸化美國的物理學家，在格拉茨（*Graz*）及維也納大學受教育，1906 年格拉茨大學博士。次年任維也納大學礦冶系助教，1908 年任維也納獸醫學院講師，教授醫學物理。1910 年間兼教維也納大學及維也納鐳錠研究所，1920 年辭去這個職位，任格拉茨大學實驗物理學副教授，1931 年任印斯布拉克（*Innsbruck*）新成立的放射性研究所所長。1938 年赴紐約市任福特漢姆(*Fordham*)大學教授，並定居美國，1944 年入美國籍，1965 年退休。1911 年利用氣球測量上大氣層的電離情形而發現宇宙射線，他並因此而獲 1936 年諾貝爾物理學獎。1965年十二月十七日逝世。

【赫爾姆霍茲】（**Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz** 1821 — 1894）

德國物理學家，生於波次但（*Postam*）。相助證明能量守恆定律。他最先表明不僅熱和機械能，而且各種形式的能量都是等效的觀點。在當代是研究聲學的權威人士，其最大貢獻乃對於音色感覺的說明，又是第一位量度神經脈動的速率；將物理方法應用於對神經系統的研究。赫爾姆霍茲還發明眼膜曲率鏡（*ophthalmoscope*）和眼睛的光學常數，供眼科醫生使用。另外他對電學也有所研究；在哲學和美學上也有所造詣。他是主張經驗主義，力反生得觀念的學說，認爲一切知識都是建築

在經驗上。

【赫爾姆霍茲自由能】(**Helmholtz free energy**)

亦稱赫爾姆霍茲函數。

詳閱“赫爾姆霍茲函數(*Helmholtz function*)”條。

【赫爾姆霍茲函數】(**Helmholtz function**)

赫爾姆霍茲函數，有時也叫赫爾姆霍茲自由能量(*Helmholtz free energy*)。其定義爲

$$F = U - TS$$

如果是無限小的可逆過程

$$dF = dU - TdS - SdT$$

以及 $$TdS = dU + PdV$$

則 $$dF = - SdT - PdV$$

由上面式子可得：

1.對於可逆等溫過程(*reversible isothermal process*)

$$dF = - PdV$$

或是 $$F_f - F_i = - \int_i^f PdV$$

因此在一個可逆等溫過程當中，赫爾姆霍茲函數的變化等於對此系統所做的功。

2.對於可逆等溫和等容過程(*isochoric process*)

$$dF = 0$$

以及 $$F = \text{常數}$$

這些性質在化學中很有用，尤其是考慮在等溫及等容條件下的化學反應時，特別有用。然而赫爾姆霍茲函數最重要的用處是在統計力學(*statistical mechanics*)上，因它和配分函數(*partition function*) Z 有密切的關係，而配分函數定義爲

$$Z = \Sigma g_i e^{-\epsilon_i/kT}$$

這裏 ϵ_i 和 g_i 各別表示此粒子系統各能量階的能量及簡併度（*degeneracy*）。對於不可分粒子的情形其熵（*entropy*）應爲

$$S = Nk\ ln\frac{Z}{N} + \frac{U}{T} + Nk$$

因此
$$F = U - TS = -NkT\ ln\frac{Z}{N} - NkT$$
$$= -kT\ (N\ lnZ - N\ lnN + N)$$

或爲
$$F = -kT\ (N\ lnZ - lnN!)$$

赫爾姆霍茲函數和配分函數間的關係，在可分粒子的情形（譬如晶體結構，其中各粒子皆佔有固定的位子）更爲簡單

$$F = -NkT\ lnZ$$

不管粒子是否爲不可分者，配分函數的自然對數直接可導至赫爾姆霍茲函數，而且因爲

$$dF = -SdT - PdV$$

壓力就可以用簡單的微分辦法求得

$$S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V \quad 以及 \quad P = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T$$

【赫爾姆霍茲渦旋定理】（**Helmholtz's theorem of vortex**）

在保守力場（*conservative force field*）中運動的完美流體，若密度 ρ 爲壓力 P 的函數，即 $\rho = f(P)$，則(1)無旋流始終爲無旋流。(2)在某一時刻同在一渦線的流體質點，始終形成同一渦線。(3)渦線的強度，沿著渦線全長保持一定，且運動中亦一定。

這些定義稱爲赫爾姆霍茲渦旋定理。如將定理說明爲“在完美流體中，渦旋不發生亦不消滅”，則稱爲拉格朗渦旋定理（*Lagrange's theorem of vortex*）。

【赫維賽德】（**Oliver Heaviside** 1850—1925）

英國物理學家，1852 年五月十三日出生於倫敦。初在紐塞（*New-*

castle ）市之電報公司供職，1874年因耳聾漸烈而被迫離職，遷居得文憂（*Devonshire*）乃潛心於電學的理論研究，自學成功。或因解決問題所用方法奇特，赫維賽德所提論文都難以被接受發表，因此在1892年將所積論文印成兩卷發表，名為“電學論文集”（*Electrical Papers*）。這些論文討論許多實用問題的理論方面，諸如多路電報，平行導線之間的靜電靜磁感應，交流電路阻抗等。赫維賽德對電話理論的研究使長途電話得以付諸實用。又介紹算符方法以解電路的微分方程式，因其方法缺乏嚴密的數學基礎而遭反對，而今世算符方法已應用極廣。他研究電荷等速運動的理論，預測速度太大時其質量會改變。又倡議在上大氣層中有一導電層，含有電離氣體，可反射電磁波，現稱為赫維賽德層。赫維賽德為皇家學會會員，1925年二月三日逝世。

【赫維賽德層】（Heaviside layer）

電離層中之一層，呈游離狀態。反射頻率3,000仟週(*kilocycles*)以上之無線電波，使地球上能夠作長距離之無線電播送及接收。此層亦稱赫維賽德、肯涅利層（*Heaviside-Kennelly layer*）或*E*層（*E layer*）。

【輔助單位】（Auxiliary unit）

為便於表示過大、過小之量時，特定的單位。輔助單位的表示方法，通常有下列二種：

1. 就原有單位冠以其他文字：

$$centi\sim=\frac{1}{100};\quad milli\sim=\frac{1}{1,000};\quad micro\sim=\frac{1}{10^6}$$

2. 另立新名稱：

1光年（*light year*）$=9.4608\times10^{15}$米——銀河系的直徑為200萬光年

埃（*angstrom*）$=10^{-8}$厘米

x單位$=10^{-11}$厘米。

【輕子】(Lepton)

屬於基本粒子中之質量較輕的一族。明確地說，就是電子、正子、緲子、反緲子、微中子或反微中子。

【輕子衰變】(Leptonic decay)

包含有輕子的衰變，例如貝他衰變及緲子衰變。由弱作用引起但不包括輕子的衰變稱爲非輕子衰變。例如

$$\Lambda \rightarrow p + \pi$$

【輕子數】(Lepton number)

對電子與 e 微子，規定一個電子數 $L_e = +1$，對正子 (電子的反粒子) 與反 e 微子，令其電子數 $L_e = -1$，對其他的粒子，$L_e = 0$。同樣，我們也可以定義另一量子數：μ 粒子數 (*muon number*) L_μ。對 μ 粒子以及 μ 微子 $L_\mu = +1$，對反 μ 粒子以及反 μ 粒子 $L_\mu = -1$，對其他的粒子 $L_\mu = 0$。

對這兩個量子數，習慣上另外定義一個輕子數 L

$$L = L_e + L_\mu$$

凡是 $L \neq 0$ 的基本粒子，我們稱之爲輕子 (*leptons*)。

【輕水】(Light water)

即普通的水 (H_2O)，以別於重水 (D_2O)。

【輕水反應爐】(Light water reactor)

所有用輕水緩速之反應爐亦均以輕水冷卻，以下僅列擧與水壓式完全不同之三大類：

1. 研究用反應爐，使用高度濃集鈾，在此爐中水之溫度低，壓力亦小，不具回收能量之系統，其功率一般均甚小。

2. 電力用反應爐，其性能恰與前者完全相反。

3. 均質反應爐。

在原子能觀點上，以 2. 反應爐最爲重要，但 1. 之數量大，且在改進科

學及核子技術方面均佔重要地位。 3.不如前二者之重要，僅具有歷史性的價值。

【輕元素】(Light elements)

參閱“重元素 (*Heavy elements*) ”條。

【輕便發射機】(Portable transmitter)

指可由一人攜帶，不必理會移動時是否可以進行工作之發射機。

【輕氫】(Light hydrogen)

卽普通氫，以別於重氫 (*heavy hydrogen*) 。

【遠日點】(Aphelion)

行星與太陽間的最大距離，地球的遠日點大約爲 7 月初。地球至夏至日後約十日爲遠日點。在遠日點地球與太陽的距離爲 152,091,000 公里。

【遠地點】(Apogee)

人造衞星在繞地球作軌跡運行中，距地球中心最遠的一點 (有時自地表算起) 。

【遠梢紅外線】(Far infrared)

在紅外線範圍 (由波長爲 7,800Å 的可見光到波長爲一毫米的微波) 內波長較長的部分，稱爲遠梢紅外線。通常是指波長 5×10^{-5} 米至 5×10^{-4} 米的區域稱爲遠梢紅外線。

【遠視】(Hypermetropia ;Long sightness)

不能明視近物之眼病與近視眼適相反，老人常患之。是近點太遠的現象，其成因是眼珠曲度不足，致使折射作用甚微，或自眼珠至網膜的距離太短，因此，

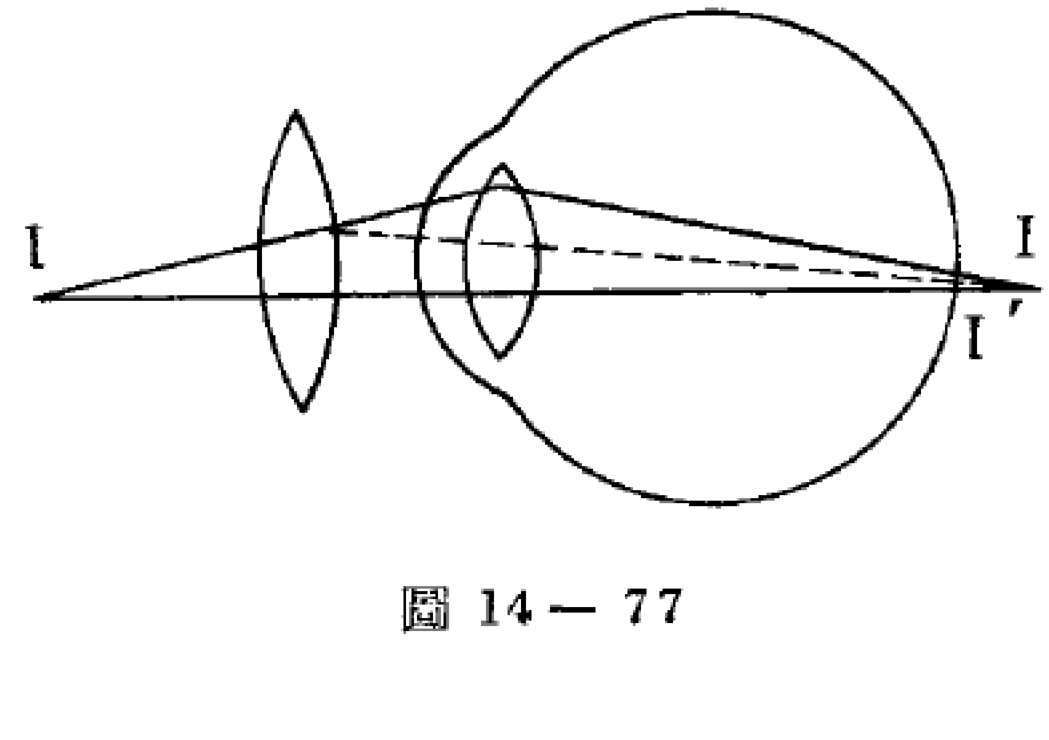


圖 14 — 77

近物所生之像雖經眼珠的極度變曲和調節仍落於網膜之後。矯正法是配戴凸透鏡眼鏡如圖 14 — 77 。

【遠程通信】(Telecommunication)

利用有線或無線之電報、電話、電視作遠程通信。

【遠距照相鏡】(Telephoto lens)

望遠照相透鏡系統之主旨在產生一遠處物標之較大物像，而無需使用一不相稱的焦距的透鏡。其原理由圖14 — 78可瞭解，圖中一正透鏡 A 及負透鏡 B，相距一適當的距離 d，而由遠處之物標能收到光線，且在感光片 P 上造成物像。今若離開透鏡 B 之最終方向向後投射，則切斷對應入射光在 C 處之光線，此乃透鏡具有一焦距相當於系統 AB 之焦距者之位置，此等值焦距 (*equivant focal length*) 決定圖像之大小，同時後焦距 (*back focal length*) 確定照相機之長度。此前後二者之比，即稱爲望遠照相放大率 (*telephoto magnification*)。

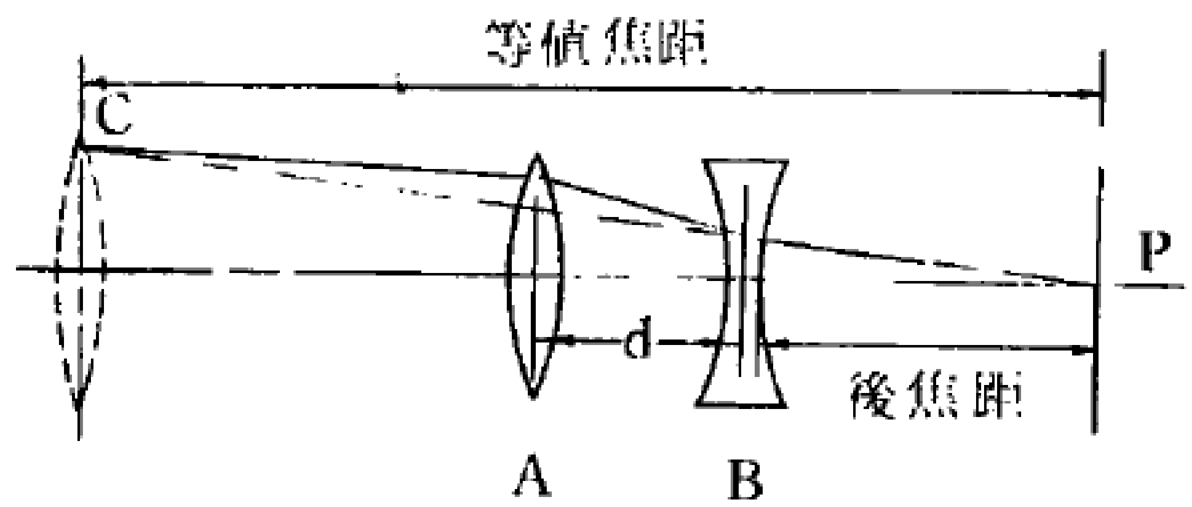


圖 14 — 78

望遠照相透鏡之原理

最早的望遠照相放大率爲六或八倍已甚滿意，且難於校正一透鏡約在 $F/11$ 時之像差，但放大率爲兩或三倍是可採納的。今則設計使用在 $F/3.5$ 之望遠照相鏡。

【遠距離之測定】(Telemetry)

在天文學裏有些證據說明了所有星河的大小大致相等，即其直徑約與我們的星雲相同。因此，只要量出一星雲對地球所張開的角度，我們可由其直徑用三角法算出其距離 (因爲夾角等於弧長除以半徑)。但地球與太陽間之距離無法用三角測量法測定，我們可用天文望遠鏡觀測太陽系內每顆行星的軌道及它們在某一時刻對太陽的相對距離。所說的相

對距離的意義是，將某一顆行星到太陽的距離視為一把"尺"，然後用這把"尺"來比較其他行星與太陽間的距離。只要我們能夠測量出最靠近地球的行星與地球間的眞正距離，則每一顆行星到太陽的距離便可推算出來。此外，利用雷達（*radar*）也可以很準確地測出行星與地球間的距離。美國的噴射推進實驗室便曾用雷達波探測金星。我們曉得雷達會發出一種電磁波，其傳播速率為光速。因此，只要將雷達波射到金星，然後觀測它被反射回到地球所需的時間，便可算出金星與地球間的距離。如圖 14 — 79 所示。

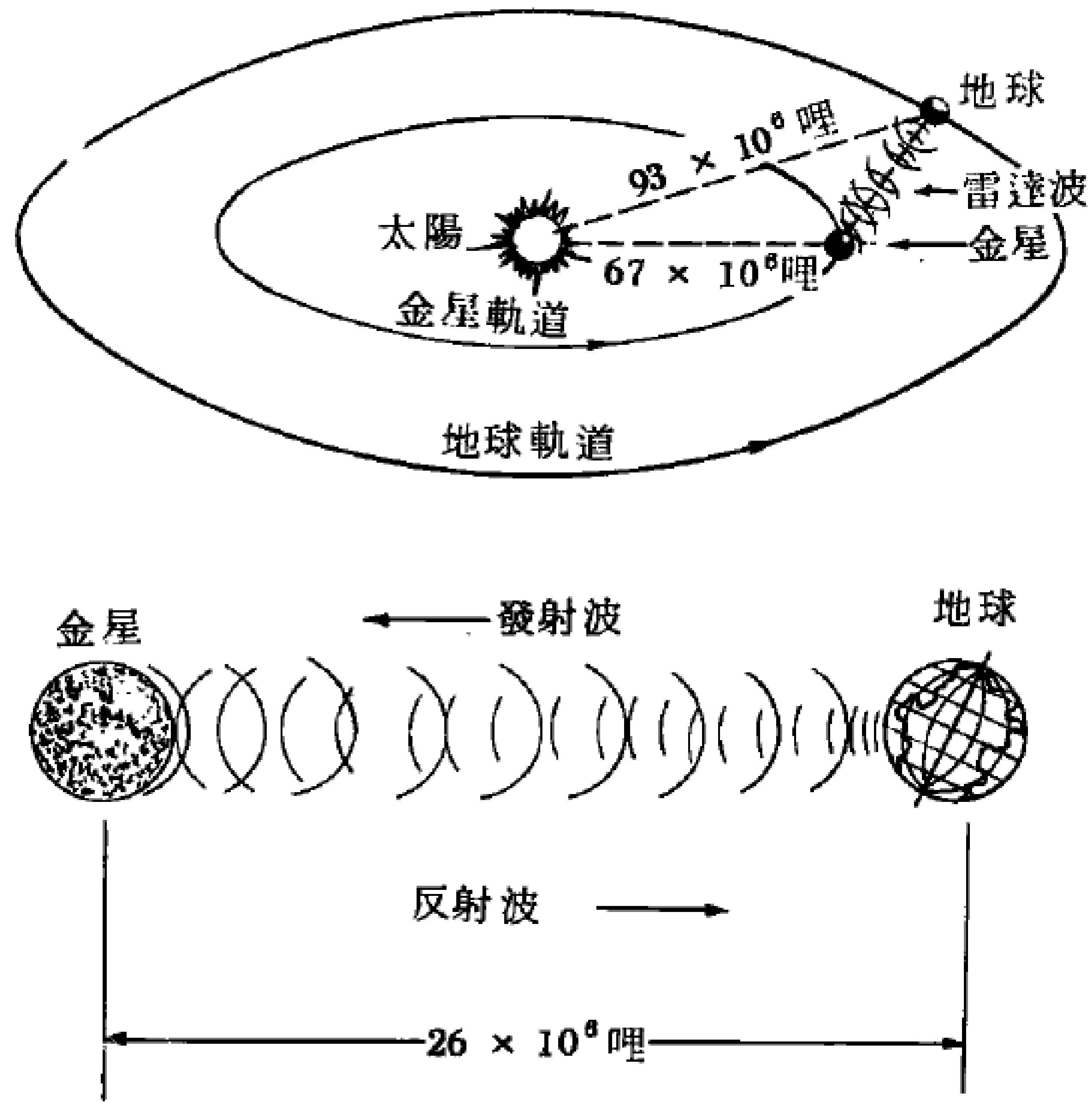


圖 14 — 79
利用雷達波的反射測金星的距離，因此太陽的距離亦可求得

此外用三角法量出所有較近的恆星的距離，並研究這些恆星的眞實亮度（*intrinsic brightness*）與其顏色的關係，結果發現亮度與顏色間有一規則性的關係存在。因此，我們只要觀察一顆無法用三角法測出其距離的恆星的顏色，便可根據這一顏色與亮度間的關係推知這顆星的眞實亮度。然後我們比較這顆星在地球上看到的亮度，即視覺亮度（*apparent brightness*）與其眞實亮度，我們便可算出它與地球間的距離，這是因為視覺亮度等於眞實亮度除以這顆星與地球間距離的平方。

【遠場壓力】（Far-field pressure）

是由空氣的可壓縮性將壓力的變化用波動的形式由聲源傳達到遠處，這也就是一般所謂疏密波的理論。

【遠隔居里治療】(Teletherapy)

將輻射源置於人體外一段距離，利用其輻射做人體治療，通常都利用放射性同位素放出的γ射柱。

【遠點】(Far point)

以自然狀態不使眼疲勞，所能清晰看到的最遠點。健全眼睛的遠點可以說是在無限遠處，可是如果近視的人，則他的遠點只在眼前附近。

參閱“近點(*Near point ; Punctum proximum*)”條。

【遙控】(Remote control)

相距較遠之操縱方法。

【遙控學】(Telemechanics)

這是利用專門的信號對遠處的各種機構進行控制，信號有由導線傳送或者不用導線而用無線電信號及光信號等形式。這些信號可以開動各個相應的機械，這些機械或者是自己完成需要的閉合電路、移動手柄或者是開動專門的電動機操作，再由這個電動機來進行所需要的操作。為了進行不同的操作，需要有各種不同的信號。所以各個控制信號在頻率和延續時間等方面都是彼此不同的；根據這些差別，就可以分別開動各種不同的機械。

有線信號傳輸的遙控系統廣泛地用來對遠處水力發電站及各種不同的生產過程等進行控制。將遙控方法與無線電通信方法配合起來，可以控制海船、飛機及其他活動目標等問題。一般太空工具利用得最多。

【遙測溫度計】(Telethermeter)

遠距離自記溫度計。

【遙測術】(Telemetry)

是指將在遠地所作的測量結果，傳送到另外一個地方，接收到的這些結果可以視需用情況而以不同形式讀出之，例如適於儀表之用，或適合於紀錄之用，或是合於計算機之用等。在無人太空探測中以遠程測量而得的飛行資料已大大的幫助人們改進太空船的設計，即使在有人駕駛的太空任務中它亦已送遞了許多其他的太空人未能送達的次要資料，它也使太空船與地球上的大計算機取得連繫。

【遙遠截止管】(Remote cut-off tube)

遙遠截止管是五極管的一種，偏壓加深後，其屏極電流呈逐漸截止的結果。由於遙遠截止管螺旋線控制柵的兩端密，而中間疏，所以由控制柵上下兩端所造成的放大因數高，中間部分的放大因數低，如此可達逐漸截止屏極電流的目的。由於控制柵構造的特殊，所以遙遠截止管的放大因數可隨控制柵偏壓而變。

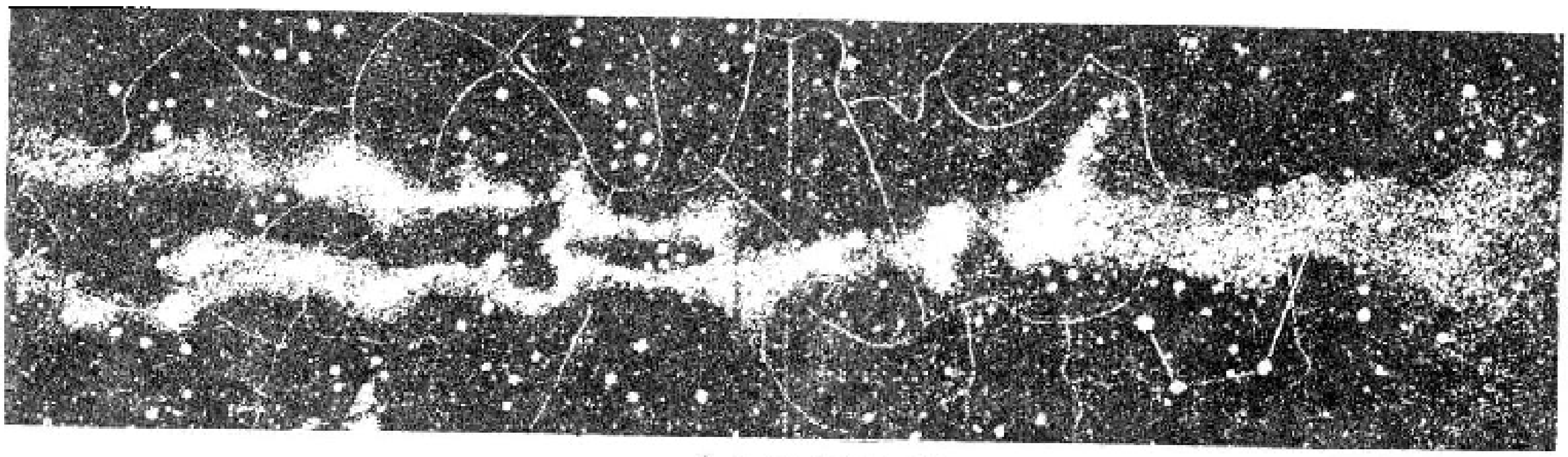
【遞變電位器】(Tapered potentiometer)

是一種對數式變化的可變電阻，又名塔級式電阻器，音量控制器多採用之。

【銀河】(Milky way ; Galaxy)

環繞天球上的一條大光帶，叫做銀河(圖14—80)。肉眼看過去，好像是一片的白雲，望遠鏡發明以後才知道是無數的微小星體的密集。大概是一個大圈，各處寬窄不同；自天鷹座以至半人馬座，附近分爲兩支，各種天體多密集在銀河附近。由種種的研究，可以知道銀河是和旋渦星雲相類似。

以銀河爲邊界的宇宙，叫做銀河系(*galaxy*)，成兩個凸透鏡的形狀，直徑約二十萬光年，厚約五萬光年；我們的太陽系就是銀河系的一部分。



(a) 銀河北部



(b) 銀河南部

圖 14 — 80

南半球的天空，有一種肉眼能夠看見的雲霧狀的東西，含有微光星、氣體星雲、星團、變星等等，叫做墨氏臘尼雲(*Magellanic clouds*)；這可以認爲是銀河的分支。

我們的太陽系是銀河中的一份子，除了以上所說的銀河（包括太陽及鄰近諸星）或說我們的銀河系之外，尚有遠離我們的銀河系之大大小小數不盡的銀河系。

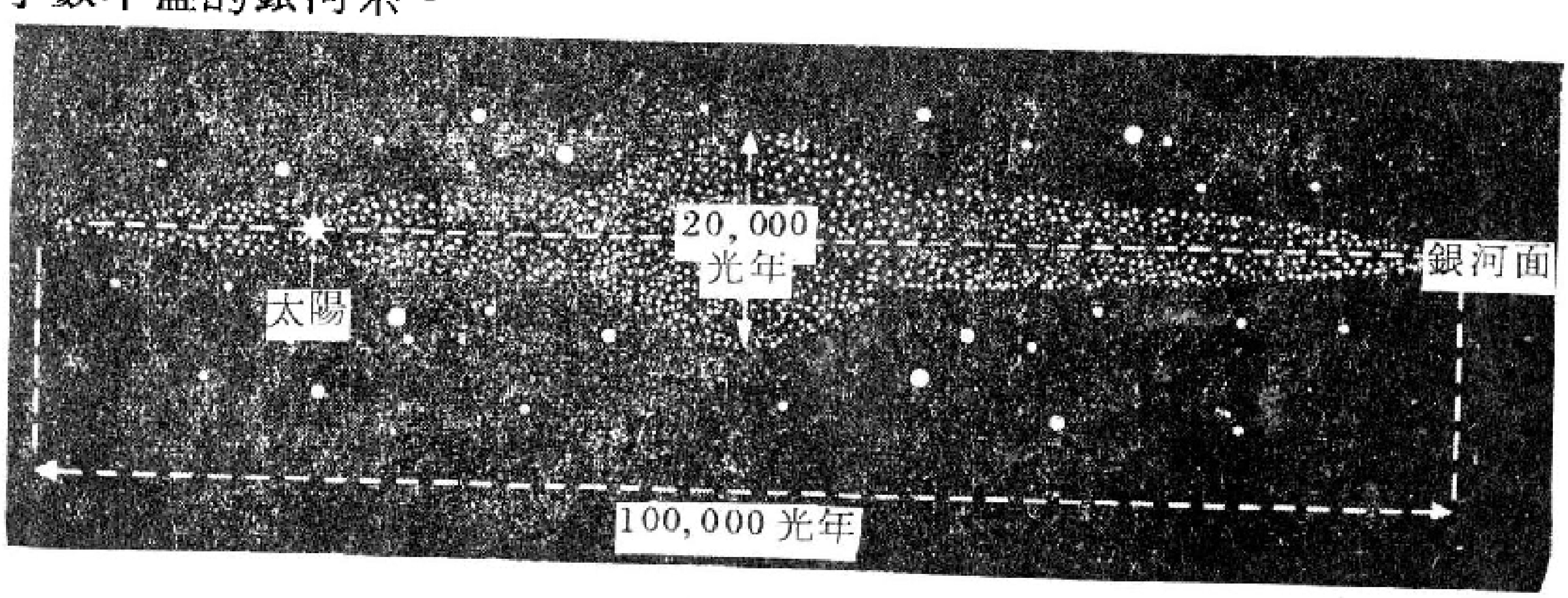


圖 14 — 81

圖 14—81 爲銀河星雲圖解，大多數星球都集中在一個扁平的桌面（*disk plane*）上，桌面厚約五百光年，半徑 50,000 光年。

【銀河外系】（Extragalactic system）

天空中除銀河系中星體外，還有河外星雲(*extragalactic nebulae*）。每一河外星雲都是由無數星體聚集而成，如銀河系一樣。河外星雲的大小與銀河系不相上下。它們皆距離銀河系很遠，互相孤立的散佈在空中；所以河外星雲又稱爲銀河外系。

美國所造成的世界最大天文鏡，口徑爲五公尺，可見到距地球十億光年之星體。在此距離的空間內，銀河外系約有八億個，將來天文鏡口徑再增大，可能見到的空間愈遠，銀河外系的數目還要增多。

銀河外系皆有離開銀河系而去的運動，距離愈遠者，離開的速度愈大。此種速度和距離成正比的關係：距離每增加一百光年時，遠離速度每秒增加一百六十公里。此爲宇宙間一大奇異現象，至今尙無圓滿解釋。

【銀河系】（Galactic system）

天空所呈微白色的光帶，略成一大圓圈，稱爲銀河（*milky way*）。銀河乃係距吾人甚遠的恆星所組成。恆星在空間集成約如一扁平球體，稱爲銀河系。銀河乃銀河系的大圓。銀河系的厚度約一萬光年，其大圓直徑約十萬光年。銀河系的中心在人馬座內；太陽系的位置，稍偏在銀河面以北，距銀河系中心約三萬光年。

銀河系中除恆星外，還有能發光及不能發光的集團雲氣存在，稱爲星雲（*nebulae*）。星雲的形狀不一，或成片塊，或成圓形，或其他不規則形狀；其大小亦不同。

銀河系中的星體，並非均勻散佈，中心部分最密：並由中心伸出三個彎曲的臂，星體大都集中在這三曲臂上：第一內臂，由天鵝座至麒麟座，太陽系在此臂上；第二外臂由仙王座至御夫座；第三臂由人馬座起

至船底座；此三臂繞銀河系中心而旋轉，成旋渦形。旋轉速度，愈近中心者愈快。在太陽系距離處，每秒約爲二百七十公里，繞銀河中心一周，約需二億二千萬年。

參閱“銀河（*Milky way*；*Galaxy*）”條。

【銀冕】（Halo；Galactic）

我們銀河的外層，尤其指銀河面的兩邊外層部分。

【銀電量計】（Silver voltameter）

設析出之銀爲m克，時間爲t秒，則所求之電流強度爲

$$I=\frac{m}{0.001118t}\ （安培）$$

【銀河星團】（Galactic cluster）

一個在我們銀河內旋渦臂內的疏散星團。

【銅電量計】（Copper voltameter）

設析出之銅爲m克，則$I=\frac{m}{0.0003294t}$（安培）

【銅焊】（Brazing）

接連二金屬體，利用第三金屬如軟黃銅於熔化後，而塗敷其上的一種方法。鋼鐵的連接面，先須擦淨，再塗以焊劑以防氧化，焊劑常係硼酸，黃銅用強水熔化，流入交接處，而紮牢二部連接之。

【銫 - 137】（Caesium - 137）

銫 - 137（^{137}Cs），半衰期30年，其在生物體內的情形與鉀(K)很相似。圖14—82示銫 - 137傳入人體的途徑。銫易被土壤保持，所以植物的根很不容易吸收它，因此直接污染植物表面（也就是與落塵率有關），是其傳入人體最重要的途徑。

銫 - 137產生的生物效應，其程度遠低於鍶 - 90（^{90}Sr）。因爲銫 - 137能從體內很快的排出。據估計，僅需70～140天，就能將體內的銫 - 137減低至原來的一半。

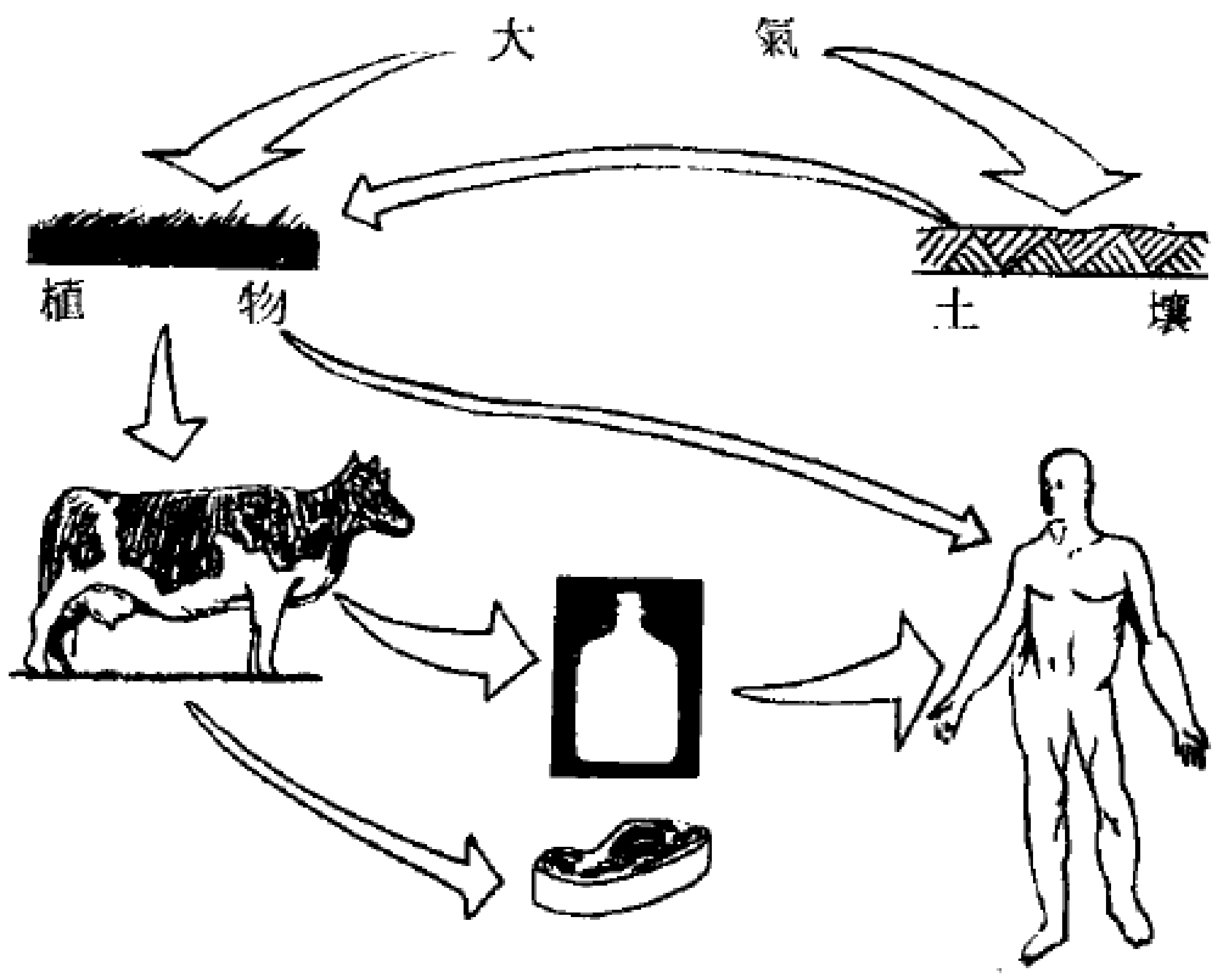


圖 14 — 82
銫 - 137 進入人體的途徑

銫 - 137 放出 γ 射線，所以我們能測出其在人體中的含量。通常以一種很靈敏的偵測儀器，稱為全身計數器（*whole body counter*）來測量。受測量的人，必須進入一四周以鋼板遮起來的房子，以避免接收到自然輻射線。幾分鐘之內，我們便能從表上讀出銫 - 137 的量，且亦能讀出自然放射性鉀在人體內的量。

【銫原子鐘】（Caesium atomic clock）

一種利用銫（*Cs*）原子特徵頻率的原子鐘，銫原子有如一小磁鐵，在非均勻磁場中運動時即生偏向。偏向的大小和方向與磁場強度及磁軸在磁場中之方向有關。

在圖 14 — 83中之電爐為銫原子鐘之銫原子源，銫原子進入非均勻磁場 A 中即被偏向。然後經共振腔C 中央的細縫 S，再進入非均勻磁場 B。若經過共振腔時，銫原子之有效磁強不變，磁場 B 恰抵銷磁場 A 所生之偏向，因此銫原子可觸及探測器。

若 C 腔內充滿微波振盪器產生之輻射線，而且此射線有極明確之臨界頻率 ν_{Cs}，則銫原子經此腔時可改變其有效磁強。此時銫原子在磁場 B內之偏向改變（虛線），不能抵達探測器。則圖 14 — 83所示的原子射束儀器可用以決定微波振盪器是否有一明確的特定頻率 ν_{Cs}。探測器輸出的變化可作為校正信號送至微波振盪器，使振盪器的頻率常準確維持特徵值 ν_{Cs}。振盪器則可用以控制石英鐘的頻率，再以石英鐘控制

標準鐘指針的運動，或提供其他更方便的時間信號。

在圖14—83的儀器中，銫原子之作用恰如鐘擺，其特徵頻率用以控制計時裝置。銫原子鐘之基本原子頻率，經以地球公轉所定之標準秒測定爲 ν_{Cs} = 9,192,631,700 ± 20 振動／秒（*ET*），是以1957回歸年的地球軌道爲準。

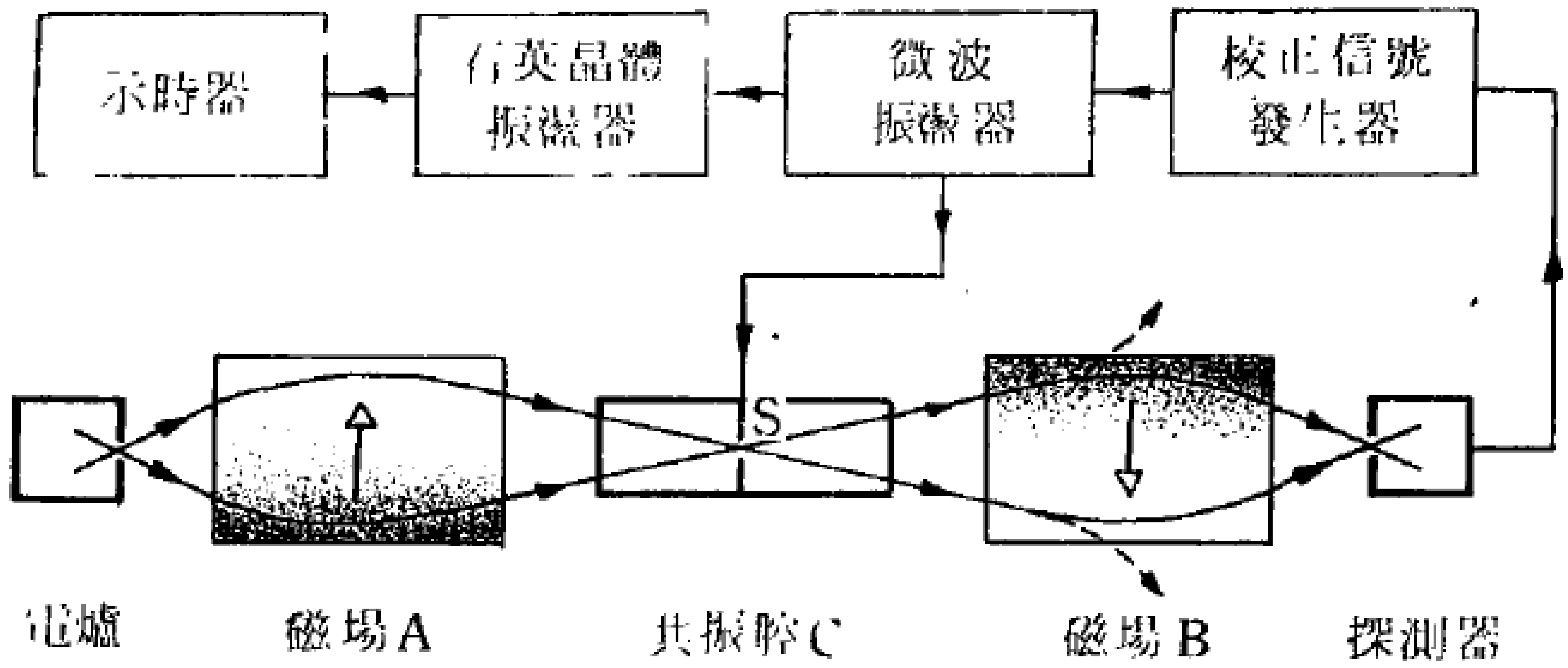


圖 14 — 83
銫原子鐘的略圖。陰暗磁場區垂直箭頭，由強磁場區指向弱磁場區。明暗變化亦表示磁場的強弱。

【銩 - 170】（Thulium - 170）

傳統*X*光攝影設備，具有很高的靈敏度，特別對於處理骨折更顯出它的功效。但對一些需要*X*光檢驗，而本身又不能夠移動到醫院的*X*光室，或居住在沒有電流供應區域的患者，小型可攜帶的儀器便非常需要。

於是一個重僅數磅的機件（*unit*）被設計出來，利用放射性同位素銩 - 170（^{170}Tm）所發射的γ射線來拍攝*X*光照（實際上應稱爲γ射線照）；這個銩放射線源被貯存在一個鉛製的護筒內，爲了拍攝，一條像百葉窗的弛張線可以控制它短暫地暴露在護筒的照門上，只要暴露幾秒鐘就可攝得一張相片。另外，更有一種多少類似的裝置，利用鍶 - 90（*strontium* - 90）作β粒子發射源不斷地來刺激箱內的金屬靶使它放出γ射線。

【障壁穿隧作用】（Barrier penetration）

一能量較障壁能量爲低之粒子穿過障壁之作用。

【障壁屏蔽】(Barrier shield)

一種 (利用遙控設備來) 把使用或處理放射材料的區域屏蔽起來的擋牆或圍牆，用以防護操作人員。

【障礙尋找器】(Fault finder)

最簡單的用來很快找出有線廣播線路上所發生故障的儀器。利用這種儀器尋找故障時，不需要削去導線的絕緣，也不用拆掉支路的引入線。

【領示管】(Pilot tube)

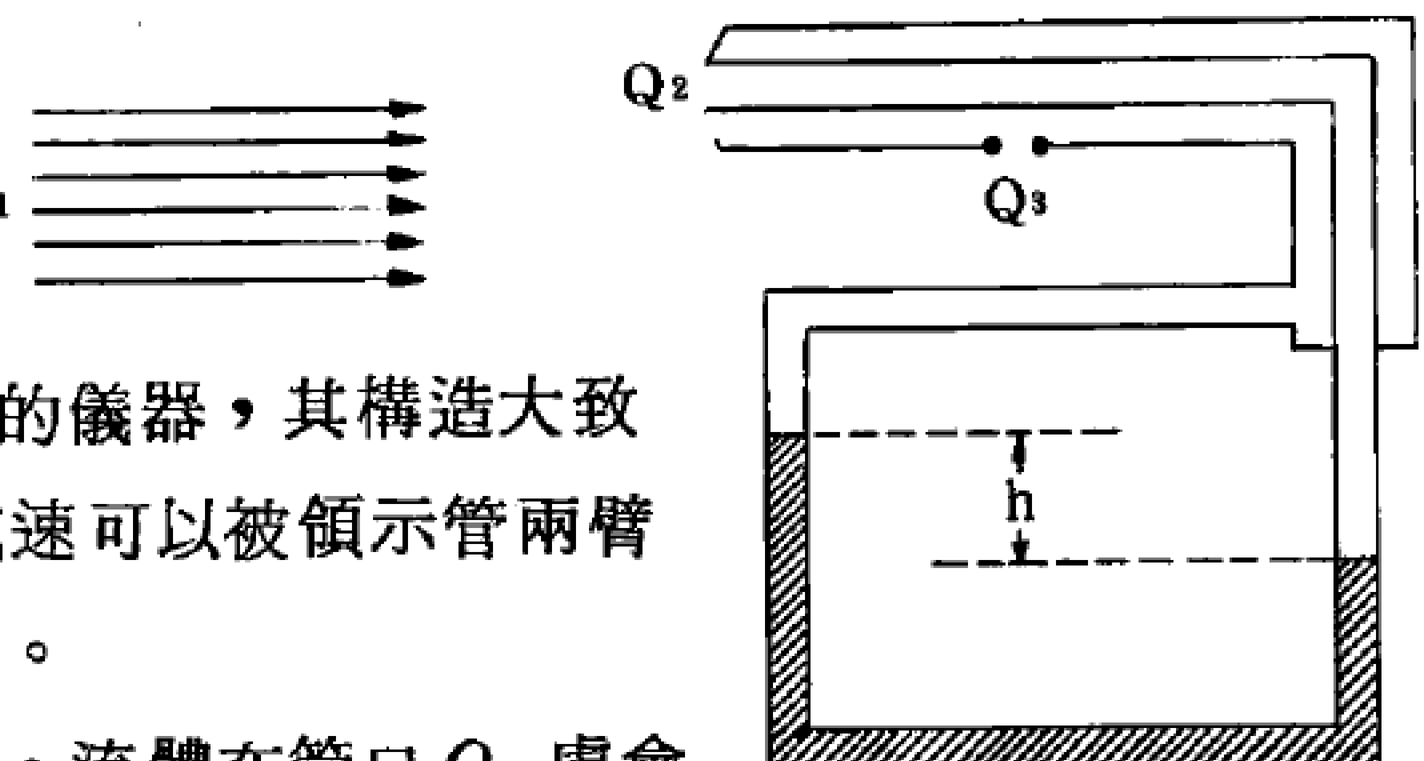


圖 14 — 84　領示管

是一種測量流體速率的儀器，其構造大致如圖 14 — 84 。流體的流速可以被領示管兩臂內水銀的高度差表現出來。

當領示管放置適當時，流體在管口 Q_2 處會停滯不進，即 $v_2 = 0$。假定在 Q_1 處的速度與壓力分別為 v_1、P_1 在 Q_2 處為 $v_2 = 0$ 及 P_2，由於液體的不可壓縮性，以及 Q_1 與 Q_2 在同一水平線上。因此，根據白努利 (*Bernoulli*) 方程式：

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho}$$

ρ 為液體的密度。因此

$$v_1 = \sqrt{2 (P_2 - P_1) / \rho}$$

通常 Q_3 的開口處遠離停滯點 Q_2；因此在 Q_3 點的流速及壓力也分別是 v_1 及 P_1。設 ρ_m 為水銀的密度 $\rho_m \gg \rho$，因此

$$(P_2 - P_1) \approx \rho_m g h$$

所以

$$v_1 = \sqrt{2 \frac{\rho_m}{\rho} g h}$$

【頗爾干涉計】(Pohl's interferometer)

沿垂直於屏之直線上置放分隔一微小距離 a 的兩光源，圖 14—85 (a)，用以討論屏上的干涉圖案。在實驗上，此二光源是由一薄雲母片的兩面反射一光源而構成之二像（圖 14—85 (b) ），此裝置稱爲頗爾干涉計。

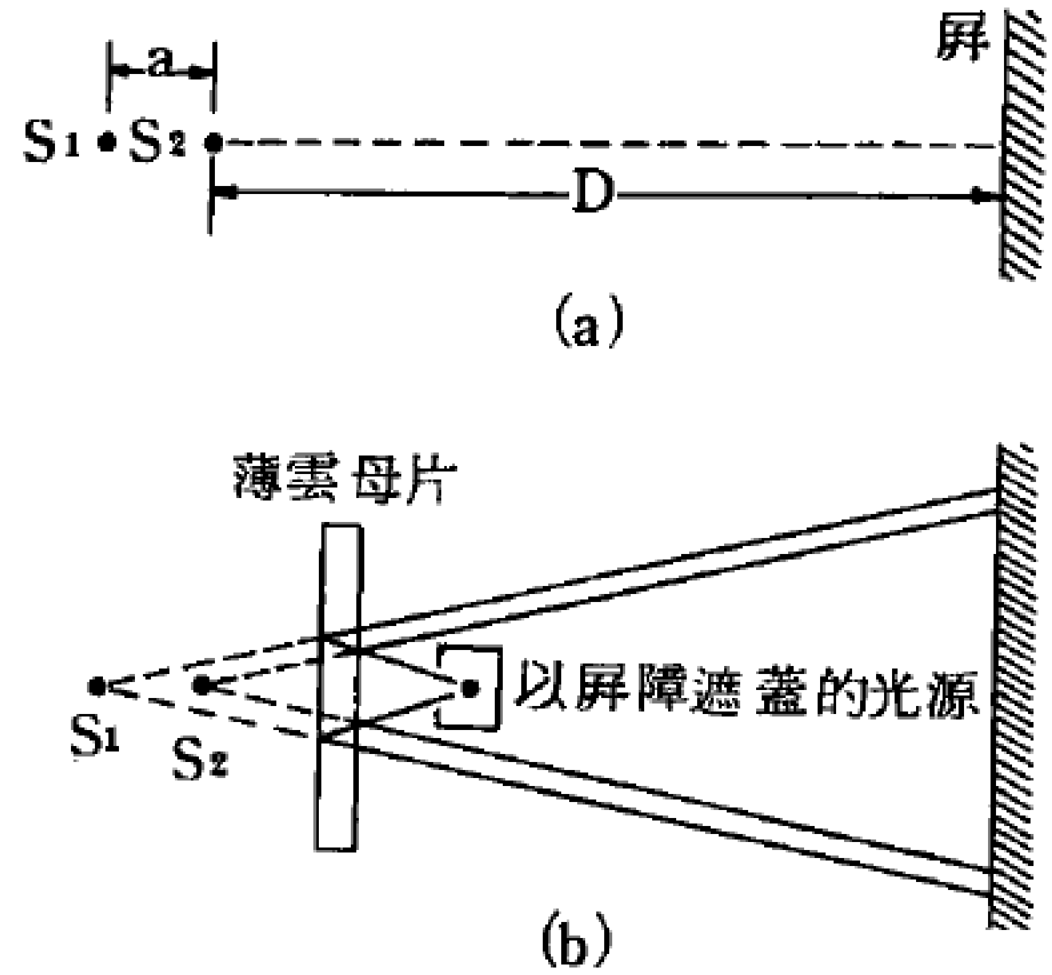


圖 14—85

【颱風】(Typhoon ; Hurricane)

颱風是發於熱帶海洋上的一種熱帶風暴。它的發源地絕大部分都在西南太平洋菲律賓以東的洋面上。

颱風實際上是一種空氣的旋渦。在熱帶的洋面上，常年天氣很熱，強烈的太陽光把大量的海水蒸發到空中，使那些地方的空氣又熱又濕，這是颱風產生所必須具備的條件。

在熱的洋面上，兩支氣流互相衝突所生成的旋渦，或是空氣受熱上升四周空氣都來鑽這個空隙所產生的旋渦，由於受地球自轉所產生的偏向力，故此氣旋渦反時針方向旋轉。

這種空氣旋渦生成旋風以後，往往越轉越大。大量又熱又濕的空氣上升，而形成颶風。但在旋渦的中心區域是風平浪靜的好天氣，這叫做颱風眼。這個區域的直徑，一般在十公里左右。

颱風移動的路徑往往先自西向東，逐漸轉爲西北、北，甚至轉向東北，好像拋物線的形狀。它們移動的路徑並不是有規則的，有時偏東一些，有時偏西一些，有時沒有登陸就轉彎了，有時又一直闖到中國的大陸深處。

一年中，什麼時候都可能有颱風在產生。但是在最熱的季節裏，生

成的颱風次數最多，勢力也最強。在東南部，亞洲的颱風出現最頻繁的季節，要算七、八、九三個月了。

【颱風眼】(Hurricane's eye)

颱風的風力越接近中心越強。但在其中心地帶卻無暴風，也無豪雨，天氣良好。這個中心帶，稱爲颱風眼，它是颱風氣壓最低的地方。其直徑一般在十公里左右，最大的有四、五十公里。颱風眼的現象很有趣，有時雲層消散，可以望到日月星辰呢！

【颱風圈】(Hurricane's circle)

在颱風眼的外部，風力與雨勢最強的範圍，稱爲颱風圈。

【飽和曲線】(Saturation curve)

指飽和點以後電壓改變，電流不改變的紀錄。

參閱“飽和電流 (*Saturation current*)”條。

【飽和汽】(Saturated vapour)

是指液面上蒸汽分子的密度達到一定限度而不再增加時，在液面上方的蒸汽。有時亦稱飽和蒸汽。

盆內盛液體加蓋密封後如圖 14—86 所示，蒸汽分子不能自由遠逸，都被圍留在液面上方，又新從液面逸出的分子不斷增加，蒸汽密度愈來愈大，彼此相碰或碰到器壁而重行返回液面內的蒸汽分子，亦隨著增多。當單位時間內，返回液面內的分子數目和離開液面的分子數目相等時，液面上蒸汽分子的密度達到一定限度而不再增加。這時在液面上方的蒸汽，稱爲飽和汽。在當時溫度下，飽和的蒸汽所有的密度，叫做飽和汽密度。此外，相應於飽和狀態的溫度叫做飽和溫度；在飽和溫度下一空間所能容納的蒸汽量叫做它的飽和量。飽和狀態的達

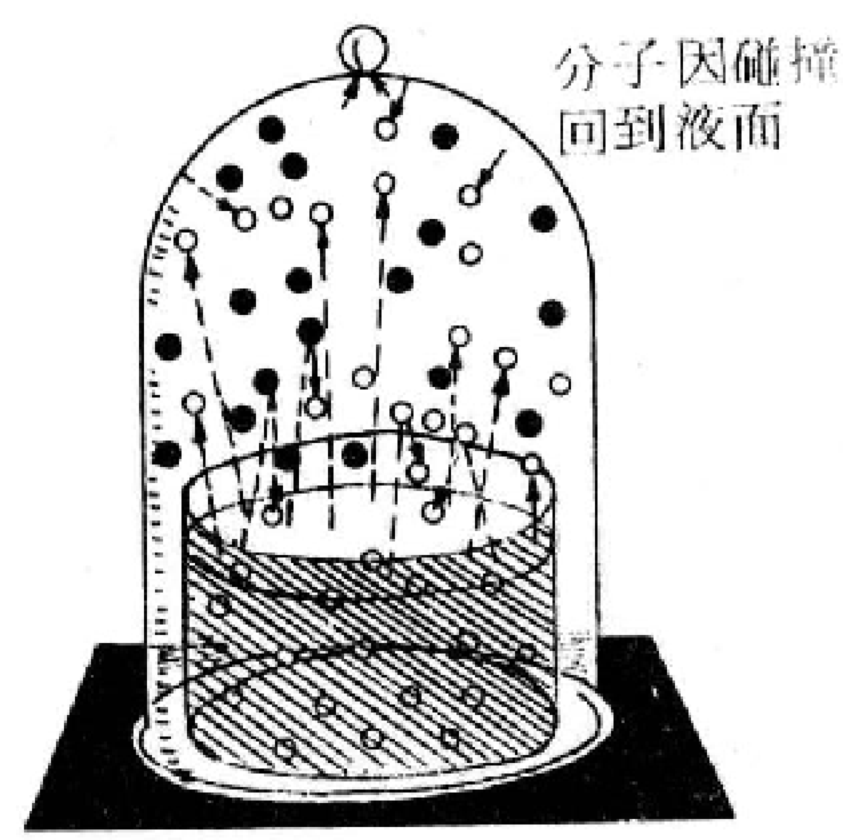


圖 14—86

到，與溫度、壓力有密切關係。

【飽和汽密度】(Saturated vapour density)

溫度 (℃)	飽和水汽密度 g/m^3	溫度 (℃)	飽和水汽密度 g/m^3
−10	2.30	15	12.83
− 5	3.26	20	17.30
0	4.85	25	23.04
5	6.80	30	30.35
10	9.41	35	39.60

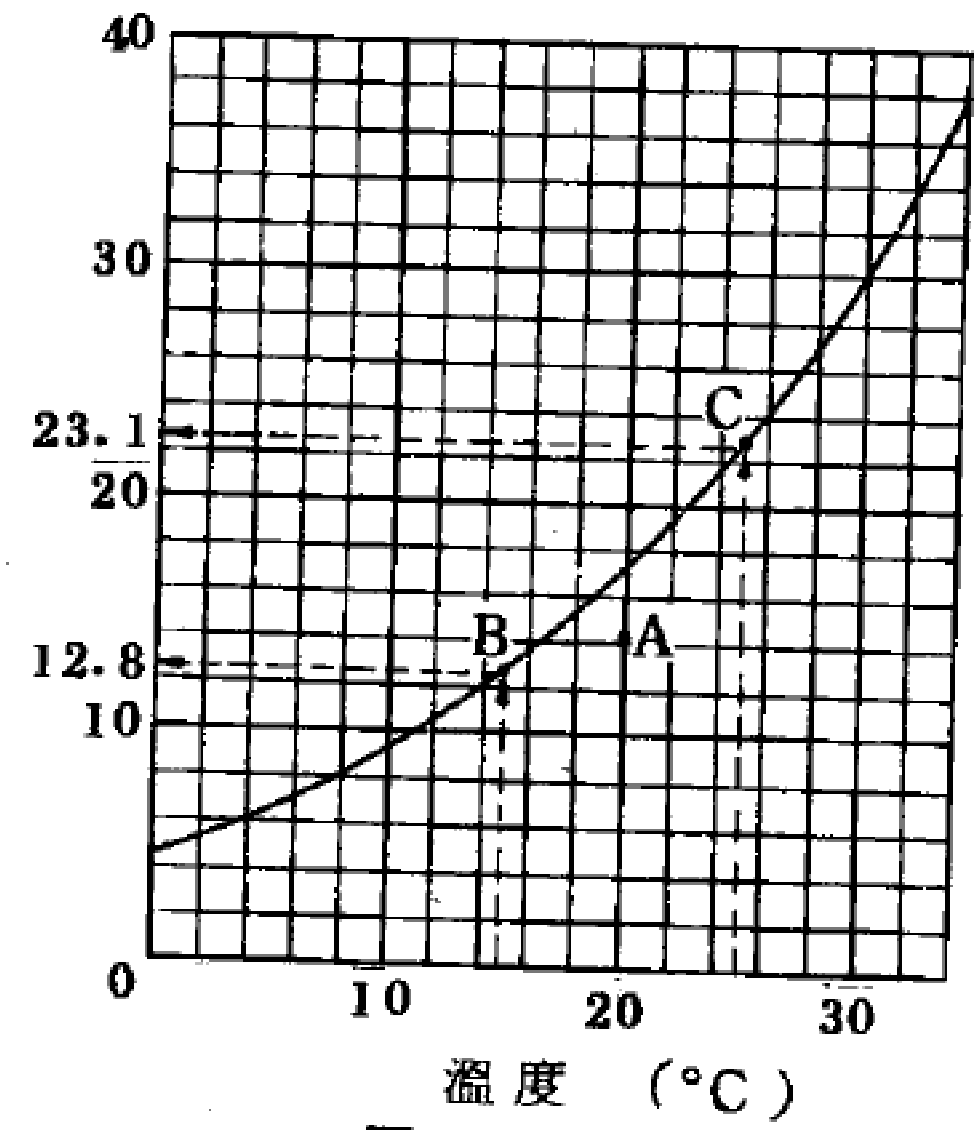


圖 14 — 87

溫度和水蒸氣飽和量

在一定溫度下，飽和蒸汽的密度。水蒸氣的飽和密度，隨氣溫而變(如上表所示)。

例如圖 14—87 的 *B* 點是 15 °*C* 的飽和狀態，*C* 點是 25 °*C* 時的飽和狀態，*A* 點是空氣中水蒸氣尚未達到其飽和時的密度。

【飽和汽壓】(Saturated vapour pressure)

由飽和蒸汽所生的壓力，叫做飽和汽壓。飽和汽壓的大小，因物質的性質而不同，醚比酒精大，水比酒精小。又和溫度的變化有關：溫度愈高，則飽和汽量愈大，飽和汽壓亦愈大。故高溫度時的不飽和汽，溫度降低時可漸變成飽和汽。溫度再降，汽的一部分即復變成液體。這個現象，稱為凝結。水在各溫度時的飽和汽壓如下頁表所示。

飽和蒸汽在同一溫度下恆具有同一壓力，飽和汽壓則與體積無關。氣體之體積減小時則壓力減低；反之則增高。但飽和蒸汽的體積減小時，蒸汽會凝結為液體；體積增大時，液體會產生新蒸汽。所以蒸汽量係視體積為轉移。欲使蒸汽壓力能在體積情況下不起變化，須使溫度保持不變。故當體積縮減時，須將凝結而放出之熱量加以疏導以免溫度增高

水在各溫度時的飽和汽壓

溫度	飽和氣壓（以汞柱長的毫米數計）	溫度	飽和氣壓（以汞柱長的毫米數計）	溫度	飽和氣壓（以汞柱長的毫米數計）	溫度	飽和氣壓（以汞柱長的毫米數計）
−10°	2.2	4°	6.1	18°	15.3	32°	35.3
−9°	2.3	5°	6.5	19°	16.3	33°	37.4
−8°	2.5	6°	7.0	20°	17.4	34°	39.5
−7°	2.7	7°	7.5	21°	18.5	35°	41.8
−6°	2.9	8°	8.0	22°	19.6	40°	54.9
−5°	3.2	9°	8.5	23°	20.9	50°	92.0
−4°	3.4	10°	9.1	24°	22.2	60°	148.9
−3°	3.7	11°	9.8	25°	23.5	70°	233.3
−2°	3.9	12°	10.4	26°	25.0	80°	354.9
−1°	4.2	13°	11.1	27°	26.5	90°	525.5
0°	4.5	14°	11.9	28°	28.1	100°	760.0
1°	4.9	15°	12.7	29°	29.7		
2°	5.3	16°	13.5	30°	31.5		
3°	5.7	17°	14.4	31°	33.4		

；又在體積增大時，將蒸發所需之熱量從外界輸入，以免溫度下降。

查理定律有一先決條件，那就是溫度發生變化時，氣體之量必須保持不變。而飽和蒸汽在體積不變之情況下加熱，只要仍有液體存在時，其壓力不但會增高，並且增加量大於根據查理定律所預期的值。

因爲溫度增高時又有液體蒸發，所以除了已有蒸汽因加熱而增高的壓力外，還要加上新蒸汽的壓力。又若相反地將飽和蒸汽冷卻時，則其壓力要比氣體冷卻時降低得更多，因在冷卻時，有一部分蒸汽液化而消失，不能再對容器內壁加以壓力。故飽和蒸汽不服從氣體定律。

【飽和電流】（Saturation current）

將電壓繼續提高，則見電流強度之增加漸慢，而不再與電壓成正比。且當電壓到達某一定值以後，雖再行提高，亦不能使電流強度增加（

圖14—88）。此種電流之最高值，稱爲飽和電流。

圖14—88所示之電流電壓曲線，可以說明電流與電壓之關係。此圖製作如下：首先按照電壓之大小，在水平軸（橫軸）上描繪相當之線段（圖中每2厘米長之分畫，相當於100伏特之電壓）然後在各分點上畫一垂直線（縱標），其長度相當於該電壓時之電流強度（圖中每2.5厘米相當於5×10⁻⁹安培）。最後將縱標上之各點聯結起來，遂形成該曲線。

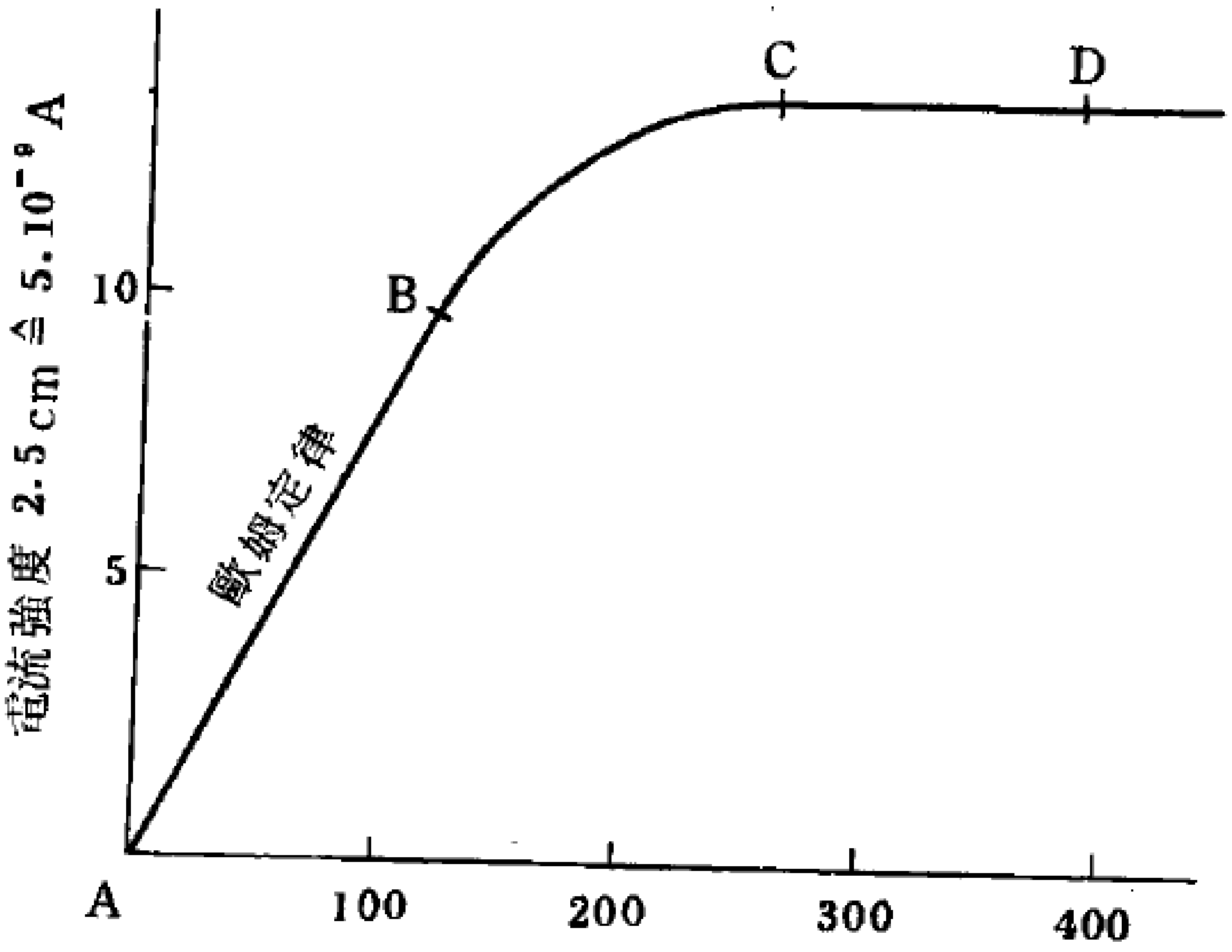


圖14—88

利用離子導電所得之電流電壓曲線

在每一秒鐘內，到達片 A 及 B 之離子數，如果小於在同一時間由離子源（本生燈）所產生之離子數，則歐姆定律仍屬有效。直線段 AB 表示最初適合歐姆定律之部分。當電壓較高時，離子源所產生之離子數，即不足以供給按照歐姆定律到達片上所需之離子數。因此，電流強度之增加，遂不再與電壓之增加成比例（BC 部分）。若電壓更高時，則飛至片上之離子數，最後必恰好等於離子源所產生者。由於並無更多之荷電體存在，故電流強度不再隨電壓之遞增而增加（CD 部分）。

【飽和感應】（Saturation induction）

一般加電流磁化某鐵磁物（*ferromagnet*）時，常會有磁滯現象（*magnetic hysteresis*）。如圖14—89所示，磁場 H 代表磁化的力量，當磁場逐漸加大，磁感應 B 趨向於某極限，飽和感應就定義爲 $B-H$ 的極限值。由於磁感應 B 是外加磁場與磁化強度的總效應（這與電場強度 E

是電位移D與極化強度P的總效應一樣），在飽和磁化時

$$\vec{B}=\vec{H}+4\pi\vec{M}_s$$

$4\pi M_s$ 項就是飽和感應，M_s 稱為飽和磁化強度。對於鐵磁物，我們能夠以很小的磁場達到飽和磁化強度，例如加以 0.01 厄司特（ *oersted* ）的磁場可以造成 1,000 高斯（ *gauss* ）的飽和感應。這與順磁物質有顯著的不同，0.01厄司特的磁場只能增加順磁物質的磁化強度約10^{-6}高斯，可謂毫無影響。飽和感應表示磁域已經達到最大的平行排列，再大的磁化力$\vec{H}$只增加$\vec{B}$中的$\vec{H}$部分，$\vec{M}_s$保持不變。

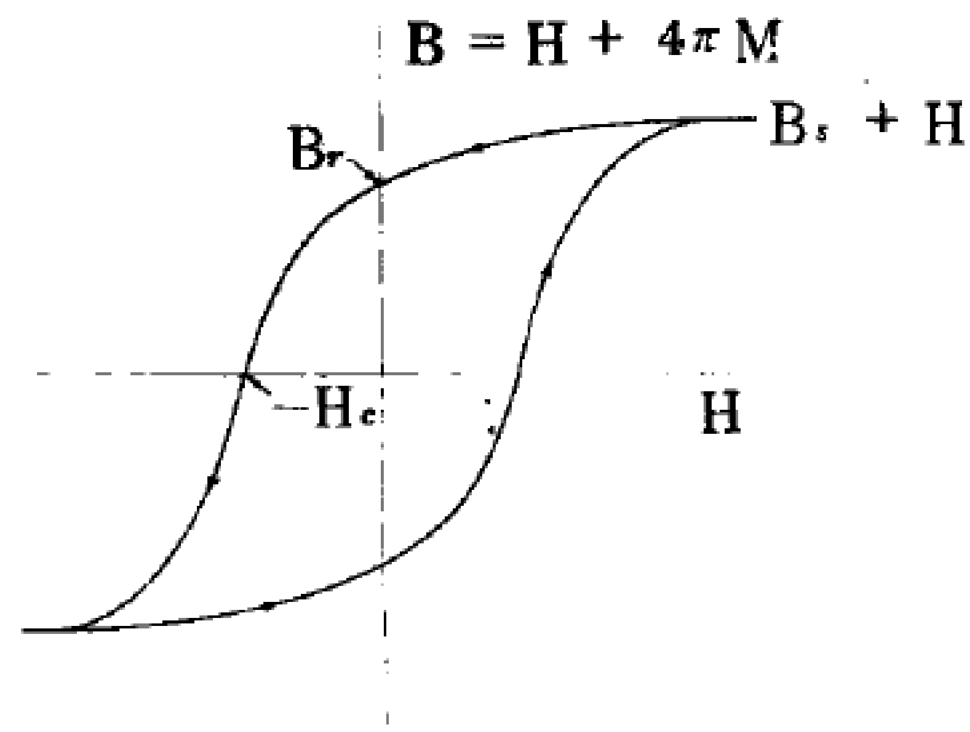


圖 14 — 89

【飽和點】（ Saturation point ）

電流不能再升的一點。